



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

“Modelación de la distribución potencial de *Cinchona officinalis*
L, bajo escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo
en la Región Sur del Ecuador”.

Trabajo de Titulación previa a la obtención
del título de Ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR:

Alexis Geovanny Mendez Cevallos

DIRECTOR:

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

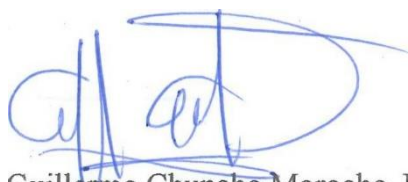
Loja, 13 de marzo de 2023

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Modelación de la distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo en la Región Sur del Ecuador**, previa a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, de autoría del estudiante **Alexis Geovanny Méndez Cevallos**, con **cédula de identidad Nro. 1105331910**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Alexis Geovanny Méndez Cevallos**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink that reads "Alexis Méndez". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal line.

Cédula de identidad: 1105331910

Fecha: 18 de julio de 2023

Correo Electrónico: alexis.mendez@unl.edu.ec

Teléfono: 0989042429

Carta de autorización por parte del autor, para consultas, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Alexis Geovanny Méndez Cevallos**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Modelación de la distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo en la Región Sur del Ecuador**, como requisito para optar por el Título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los dieciocho días del mes de julio del dos mil veintitrés.

Firma:



Autora: Alexis Geovanny Mendez Cevallos

Cédula de identidad: 1105331910

Dirección: Loja, Avenida José María Vivar Castro y calle Juan Gaboto, Electricista Alto

Teléfono: 0989042429

Correo electrónico: alexis.mendez@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho. Mg. Sc.

Dedicatoria

A Dios, por brindarme fortaleza, salud y sabiduría para cumplir mis metas propuestas.

A mi familia; en especial a mi madre Silvia Cevallos Escobar, por su apoyo incondicional que me ofrece diariamente. A mi prima Noemi Cevallos Escobar, que con todo el cariño y aportó financiera y moralmente para la culminación de mis estudios universitarios. A mi abuelo Carlos María Cevallos (†), quien ha sido una fuente inagotable de sabiduría, que a pesar de que él ya no se encuentra físicamente conmigo, siempre se encuentra presente en mis pensamientos, y diariamente en el cálido palpitar de mi corazón.

Finalmente, a mis amigos y compañeros gracias por brindarme sus amistades su motivación y optimismo.

Alexis Geovanny Méndez Cevallos

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento y reconocimiento a la “Universidad Nacional de Loja,” a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, en especial a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente y toda la planta docente y administrativa, ya que este centro de estudios me acogió y brindó la oportunidad de superarme académica y personalmente.

De manera especial expreso infinita gratitud al Ing. Cesar Bernardo Benavidez Silva, a más de ser un prestigioso catedrático de mi anteproyecto y de mi Trabajo de Titulación, ha sido mi amigo quien con su experiencia y sabiduría inculcó valores para nuestra superación personal. También al Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Director de Trabajo de Titulación por sus conocimientos y por ser mi guía de apoyo en la elaboración del Trabajo de Titulación, que me permitió llegar a la culminación de mi Trabajo de Titulación.

Finalmente, a los miembros del Tribunal de Grado por su predisposición a colaborar con valiosos criterios profesionales para mejorar la calidad del trabajo presentado.

Alexis Geovanny Méndez Cevallos

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de Anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Revisión de Literatura	6
4.1. Áreas de Distribución de las Especies	6
4.1.1. <i>Nicho Ecológico</i>	6
4.1.2. <i>Áreas Potenciales de Distribución</i>	6
4.2. Bases Conceptuales del Cambio Climático.....	6
4.2.1. <i>Cambio Climático</i>	6
4.2.2. <i>Escenarios del Cambio Climático</i>	7
4.2.3. <i>Influencia de los Factores Ambientales en las Especies</i>	10
4.2.4. <i>Cambio Climático en la Región Sur del Ecuador</i>	11
4.3. Uso de Suelo en la Región Sur del Ecuador	12
4.4. Modelamiento de Distribución de Especies.....	13
4.4.1. <i>Calibración</i>	14
4.4.2. <i>Evaluación</i>	14

4.4.3. Tipo de Datos: Presencia / Ausencia	15
4.4.4. Selección de Variables Topográficas y Bioclimáticas	15
4.4.5. Técnicas de Modelación	16
4.5. <i>Cinchona officinalis</i> L	18
4.5.1. Distribución en el Mundo y Ecuador	18
4.5.2. Características Morfológicas y Ecológicas	18
4.5.3. Estado de Conservación	19
5. Metodología.....	20
5.1. Área de estudio	20
5.2. Diseño de Investigación.....	21
5.3. Metodología para modelar la distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L	22
5.3.1. Datos de presencia / ausencia.....	22
5.3.2. Variables bioclimáticas.....	23
5.3.3. Calibración del modelo	24
5.3.4. Evaluación del modelo	25
5.3.5. Simulación o proyección	25
5.4. Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de <i>Cinchona officinalis</i> L	26
5.5. Análisis estadístico	28
6. Resultados	28
6.1. Distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, para el período actual y para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0.	28
6.2. Comparar los modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080	38
7. Discusión	40
8. Conclusiones	44
9. Recomendaciones	45
10. Referencias.....	46
11. Anexos	57

Índice de Tablas

Tabla 1. Variables bioclimáticas.	23
Tabla 2. Técnicas para la construcción de modelos de distribución de especies.	24
Tabla 3. Coberturas terrestres basados en PPT (Plant Functional Type) bajo escenarios SSP – RCP en 2015 y 2100 según categoría.	27
Tabla 4. Variables ambientales seleccionadas como predictores de la distribución potencial actual y futura de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L.	29
Tabla 5. Evaluación de las técnicas de modelación con los test Receiver Operating Characteristic (ROC) y True Skill Statistic.	29
Tabla 6. Probabilidad de área potencial de pérdida, ganancia y persistencia para los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 6.0..	36
Tabla 7. Área potencial de ganancia, pérdida y persistencia de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, a nivel de provincia de la Región Sur del Ecuador.	37
Tabla 8. Intervalos de temperatura anual, precipitación anual y altitud, de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, para los años 2030, 2050 y 2080, bajos los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 6.0.	38

Índice de figuras

Figura 1. Panorama de los SSP: espacios de desafíos que identifica 5 tipos de escenarios con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación	9
Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de la Región Sur del Ecuador.	20
Figura 3. Organigrama de la metodología seguida para la presente investigación.	22
Figura 4. Área de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual.	30
Figura 5. Distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2030.	31
Figura 6. Distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2050.	32
Figura 7. Modelación de la distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2080.	33
Figura 8. Modelación de la distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2030.	34
Figura 9. Modelación de la distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2050.	35
Figura 10. Modelación de la distribución potencial de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2080.	36
Figura 11. Área de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos usos de suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual.....	39
Figura 12. Área de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos los usos de suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador por años y para los dos escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0	40

Índice de Anexos

Anexo 1.	Registro de información de presencias de la especie de <i>Cinchona officinalis</i> L.	57
Anexo 2.	Algoritmo aplicado en R para transformar los puntos de ausencia en potenciales pseudoausencias.	71
Anexo 3.	Correlación de Pearson de las 23 variables biofísicas.....	72
Anexo 4.	Algoritmo aplicado en R para la validación de datos.....	73
Anexo 5.	Algoritmo aplicado en R para calibrar el modelo	73
Anexo 6.	Resultados de la prueba de Jackknife para variables de importancia.....	74
Anexo 7.	Evaluaciones de los ensambles de los modelos mediante los Test ROC y TSS.	75
Anexo 8.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2030.....	75
Anexo 9.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2050.....	76
Anexo 10.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2080.....	76
Anexo 11.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2030.....	77
Anexo 12.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2050.....	77
Anexo 13.	Modelo de distribución potencial de <i>Cinchona officinalis</i> L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2080.....	78
Anexo 14.	Certificación de la traducción del Resumen (Abstract).....	79

1. Título

Modelación de la distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo en la Región Sur del Ecuador.

2. Resumen

La especie de *Cinchona officinalis* L, es una especie forestal que viene desapareciendo en nuestro territorio producto de la deforestación, tala ilegal, agricultura migratoria y quemas periódicas, ocasionando la pérdida de muchos de sus hábitats naturales. La presente investigación tuvo como objetivo generar modelos de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo un contexto de cambio climático para distintas dinámicas espaciales y temporales en la Región Sur del Ecuador (RSE). Para cumplir con el objetivo, se aplicaron modelos de distribución potencial utilizando la librería Biomod2 v4.0 implementado en R Core Team, registros de presencia, 19 variables bioclimáticas y 4 topográficas. Se aplicaron procesos estadísticos con el fin de eliminar la multicolinealidad y sobre ajuste de los modelos, para ello se implementaron dos métodos: la correlación de Pearson y el Variance Inflation Factor (VIF). La evaluación de los modelos y ensambles se realizó aplicando los Test ROC y TSS obteniendo valores superiores a 0.90. Los modelos de distribución potencial fueron obtenidos para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, para lo cual se determinó en Qgis el área de pérdidas, ganancias y persistencias para cada modelo. Adicionalmente, se realizó una comparación de áreas de los modelos de distribución, mediante el cruce de capas con información geográfica de cobertura terrestres basados en 20 tipos de suelo PFT bajo escenarios SSP – RCP para 2015 y 2100. Teniendo como resultados que la probabilidad del área de distribución potencial actual de *Cinchona officinalis* L, en la RSE es de 403.263,83 hectáreas, existiendo una probabilidad de pérdida del área de distribución potencial actual de entre el 70 y 75 % hacia los años 2030, 2050 y 2080, con una probabilidad de ganancia de área de distribución potencial hacia el futuro de entre el 10 y 15 % con respecto a la distribución actual. Además, el área de distribución potencial en función del cambio de uso de suelo fue de 259.208,60 hectáreas, siendo la provincia de Loja la que presentó mayor área y probabilidad de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo los escenarios climático RCP 4.5 y 6.0. Las variables de mayor importancia fueron el DEM, BIO3 y BIO15. Por tanto, los modelos de distribución de especies son necesarios para evaluar las amenazas a las que está sometida esta especie y diseñar planes de reforestación en áreas de interés conservacionistas incorporando en este último caso escenarios futuros de cambio climático.

Palabras clave: Biomod2, *Cinchona officinalis* L, escenarios de cambio climático, distribución potencial de especies, cambio de uso de suelo.

2.1. Abstract

Cinchona officinalis L. is a forest species that has been disappearing in our territory as a result of deforestation, illegal logging, migratory agriculture and periodic fires, causing the loss of many of its natural habitats. The objective of this research was to generate models of the potential distribution of *Cinchona officinalis* L, under a context of climate change for different spatial and temporal dynamics in the Southern Region of Ecuador (RSE). To meet the objective, potential distribution models were applied using the Biomod2 v4.0 library implemented in R Core Team, presence records, 19 bioclimatic variables and 4 topographic variables. Statistical processes were applied to eliminate multicollinearity and overfitting of the models, using two methods: Pearson's correlation and Variance Inflation Factor (VIF). The evaluation of the models and assemblies was carried out by applying the ROC and TSS tests, obtaining values above 0.90. The potential distribution models were obtained for the years 2030, 2050 and 2080, under the climate scenarios RCP 4.5 and 6.0, for which the area of losses, gains and persistence for each model was determined in Qgis. As a result, the probability of the current potential distribution area of *Cinchona officinalis* L. in the RSE is 403,263.83 hectares, with a probability of loss of the current potential distribution area of between 70 and 75% in the years 2030, 2050 and 2080, with a probability of gain of potential distribution area in the future of between 10 and 15% with respect to the current distribution. In addition, the area of potential distribution as a function of land use change was 259,208.60 hectares, with the province of Loja having the greatest area and probability of potential distribution of *Cinchona officinalis* L, under the RCP 4.5 and 6.0 climate scenarios. The most important variables were DEM, BIO3 and BIO15. Therefore, species distribution models are necessary to evaluate the threats to which this species is subjected and to design reforestation plans in areas of conservation interest, incorporating in the latter case future climate change scenarios.

Key words: Biomod2, *Cinchona officinalis* L, climate change scenarios, potential species distribution, land use change.

3. Introducción

El cambio climático constituye una amenaza inminente a la biodiversidad y en sinergia con el cambio de uso del suelo puede aumentar el riesgo de extinción para muchas especies (Zwiener et al., 2017, Despland & Houle, 1997, Thomas et al., 2004, Delgado & Suárez-Duque, 2009). El IPCC, (2007) concluye que el cambio climático es inequívoco y que este afecta a otros aspectos del clima como el calentamiento de los océanos y los modelos de circulación. Además, el cambio climático también aumenta la aparición de fenómenos meteorológicos más violentos, sequías, incendios, la muerte de especies animales y vegetales, los desbordamientos de ríos y lagos, y la destrucción de los medios de subsistencia y de los recursos económicos, especialmente en países en desarrollo (Quiñonez et al., 2022).

Los cambios en el clima pueden modificar y provocar que las especies busquen nuevas zonas donde distribuirse y el cambio de uso de suelo, potencialmente podría restringir la superficie disponible para el desarrollo de las especies (Elith et al., 2010). En consecuencia el hábitat natural de las especies podría verse reducido, disminuyendo sus poblaciones y cambiando sus patrones de distribución tales como: desplazarse, contraerse, expandirse y fragmentarse en respuesta a los cambios ambientales (Gil, 2017). Teniendo mayor impacto en aquellas especies que tienen una distribución restringida como lo es la especie de *Cinchona officinalis* L (Cueva-Agila et al., 2019).

La Región Sur del Ecuador (RSE) tiene una alta riqueza de plantas vasculares, esto debido a su topografía con altas montañas, valles y región interandina (Cueva-Agila et al., 2019). Esta zona está conformada por las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, cubriendo una superficie aproximada de 40 000 km² (Lozano, 2002). La provincia de Loja es poseedora de una gran diversidad de especies, como es el caso del género de *Cinchona*, mismo que ha sido objeto de una explotación sin previsiones para el futuro, siendo la excesiva demanda de la cascarilla a partir del siglo XVII, que provocó la explotación irracional de las especies que comprenden este género, principalmente en esta provincia (Montaño et al., 2017).

Cinchona officinalis L, es una especie forestal que viene desapareciendo en nuestro territorio producto de la deforestación, tala ilegal, agricultura migratoria, quemas periódicas,

desconocimiento entre otras (Montaño et al., 2017). Según Espinosa, (1997), el hábitat potencial de *Cinchona officinalis* L. en la provincia de Loja contiene una superficie de 9 836 km², de los cuales el 78,45 % del hábitat se ha perdido y solo el 17,88 % se encuentra protegido por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas como Parque Nacional Podocarpus y Yacuri. Actualmente quedan pocos individuos en remantes boscosos de difícil acceso (Pucha-Cofrep et al., 2020). Sin embargo, a pesar de la evidente disminución en el tamaño de la población y continuas amenazas al hábitat restante, el estado de conservación de *C. officinalis* L, aún no ha sido evaluado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Cueva-Agila et al., 2019).

Esta investigación permitirá incorporar acciones de desarrollo de conservación teniendo en cuenta el clima futuro, así como los cambios de uso del suelo, factores que pueden aumentar el riesgo de extinción para muchas especies, además, desde la perspectiva de la conservación, la distribución geográfica de las especies es información básica requerida (Zwiener et al., 2017), para evaluar el impacto del cambio climático sobre el espacio geográfico, así como la influencia de los cambios del uso del suelo (Benavidez-Silva et al., 2021).

Objetivos

Objetivos General

- Generar y evaluar modelos de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo un contexto de cambio climático para distintas dinámicas espaciales y temporales en la Región Sur del Ecuador.

Objetivos Específicos

- Modelar zonas de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, para el periodo actual y para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0.
- Comparar los modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de *Cinchona officinalis* L, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, para los años 2030, 2050 y 2080.

4. Revisión de Literatura

4.1. Áreas de Distribución de las Especies

4.1.1. Nicho Ecológico

Odum, (1974), señala que el nicho ecológico no solo es el espacio físico ocupado por un organismo, sino también su papel funcional en la comunidad (como, por ejemplo, su posición trófica) y su posición en los gradientes ambientales de temperatura, pH, suelo y otras condiciones de existencia. Siendo Hutchinson en 1957, quien sugirió que el nicho ecológico es un hipervolumen en el espacio ambiental originado por la respuesta multidimensional a las variables (tanto factores abióticos como bióticos) que determinan la estabilidad de las poblaciones (Hernández, 2021).

4.1.2. Áreas Potenciales de Distribución

El área de distribución potencial de las especies es la superficie de mayor probabilidad para que los organismos estén presentes, existen distintos factores que pueden determinarlos: factores abióticos (condiciones climáticas, medio físico y otros factores); condiciones biológicas (interacciones con otras especies); distribuidos en zonas geográficas relacionadas con las capacidades de cada taxón; adaptabilidad de las especies a las nuevas condiciones ambientales o la presencia de barreras geográficas (Illoldi Ranguel & Escalante, 2008).

La distribución se puede clasificar en dos categorías, áreas donde la especie existe actualmente (regiones de distribución reconocida) y lugares donde existen condiciones para que la especie exista, pero no necesariamente se encuentra en esas zonas, denominado como distribución potencial. En una región pueden existir las condiciones de vida de una especie, pero en ocasiones no se encuentran en dichos lugares, esto puede deberse a razones diferentes, tales como: evolución, competencia entre especies, accesibilidad, presencia de depredadores, etc. (López García, 2007).

4.2. Bases Conceptuales del Cambio Climático

4.2.1. Cambio Climático

El cambio climático es definido según el Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio climático (1992), como las variaciones del clima por influencia de las actividades antropogénicas, mismas que altera la composición de la atmósfera global, sumado

a los eventos naturales del clima observado durante períodos de tiempo comparables. En los últimos decenios, los cambios del clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos, y desde aproximadamente 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, algunos de estos cambios han sido asociados con influencias humanas, como por ejemplo la disminución de las temperaturas frías extremas y el aumento de las temperaturas cálidas extremas (IPCC, 2014).

Y de acuerdo al IPCC, (2019), se prevé que el número de especies que perderían más de la mitad de su alcance geográfico determinado por el clima con un calentamiento global de 2 °C (18 % de insectos, 16 % de plantas, 8 % de vertebrados) se reduciría (6 % de insectos, 8 % de plantas y 4 % de vertebrados) con un calentamiento de 1,5 °C. Actualmente el cambio climático se considera un fenómeno a nivel global que pone en riesgo los recursos naturales de los países, debido a que sus efectos resultan irreversibles, por tal motivo se ha convertido en una problemática que abarca varios escenarios como político, económico, social y ambiental (Ontaneda Andrade, 2020).

4.2.2. Escenarios del Cambio Climático

Los escenarios socioeconómicos y de emisiones se utilizan en la investigación del clima debido a que ofrecen predicciones realistas de cómo evolucionan en el futuro las formas de crear energía, los usos del suelo, la tecnología, el nivel socioeconómico y la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera (Barredo, 2016). Al conjunto de escenarios que contienen las predicciones de emisiones, su concentración y usos de suelo se les conoce como Trayectorias de Concentración Representativa o RCP por su siglas en inglés, estos deben basarse en escenarios previamente publicados al respecto en términos de emisiones y sus concentraciones (Van Vuuren et al., 2011).

Existen cuatro RCP definidas por su forzamiento radiativo total, una medida de emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero de todas las fuentes expresadas en vatios por metro cuadrado (W/m^2) hasta el año 2100 (Barredo, 2016). Dichas trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP 2.6), dos escenarios intermedios (RCP 4.5 y RCP 6.0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8.5) (IPCC, 2014).

El RCP 2.6, corresponde a la trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo o aproximado de 3 Wm^2 y posteriormente disminuye y se limita a 2.6 Wm^2 en 2100, por otro lado, los RCP 4.5 y RCP 6.0, son dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se limita a aproximadamente 4.5 Wm^2 y 6 Wm^2 en 2100 (las correspondiente trayectorias de concentración ampliada mantienen concentraciones constantes después de 2150) y finalmente el RCP 8.5 tiene una trayectoria alta que alcanza valores superiores a 8.5 Wm^2 en 2100 (IPCC, 2019).

Además, el IPCC, (2014), señala determinados sucesos ambientales a causa de los efectos del cambio climático:

- La temperatura media global al final del presente siglo XXI (2081-2100) respecto de 1986-2005 sea de $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ bajo el escenario RCP 2.6; de $1,1 \text{ }^\circ\text{C}$ a $2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ bajo RCP 4.5; de $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ bajo RCP 6.0; y de $2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ bajo RCP 8.5 y la región del Ártico seguirá calentándose más rápidamente que la media global.
- La precipitación no será uniforme, siendo probable que en las latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial se experimente un aumento en la precipitación media anual en el marco del escenario RCP 8.5, siendo probable que en muchas regiones húmedas de latitud media la precipitación media aumente.
- En todos los escenarios de emisiones evaluados, las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI, siendo muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más.

En el Sexto Informe de Evaluación del IPCC, describe los nuevos escenarios de cambio climático denominados Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés), cuya principal consideración son los desafíos socioeconómicos de mitigación y adaptación al cambio climático que podrían existir a nivel mundial (Isamit Faure, 2022). Los SSP tienen como finalidad producir escenarios integrados que incluyan tanto los supuestos socioeconómicos como los ambientales que serían afectados por el cambio climático y las políticas climáticas (Escoto Castillo et al., 2017). Un aspecto esencial de los SSP son las narrativas que acompañan a los escenarios y que se describen en dos dimensiones: I) los diseños que las condiciones socioeconómicas representan para la adaptación, y II) los retos que representan para la mitigación, con ello se obtienen escenarios que, de manera plausible, representan condiciones socioeconómicas y ambientales (pero no

climáticas) y sus desafíos para ejecutar las acciones políticas de mitigación y adaptación (O'Neill et al., 2017).

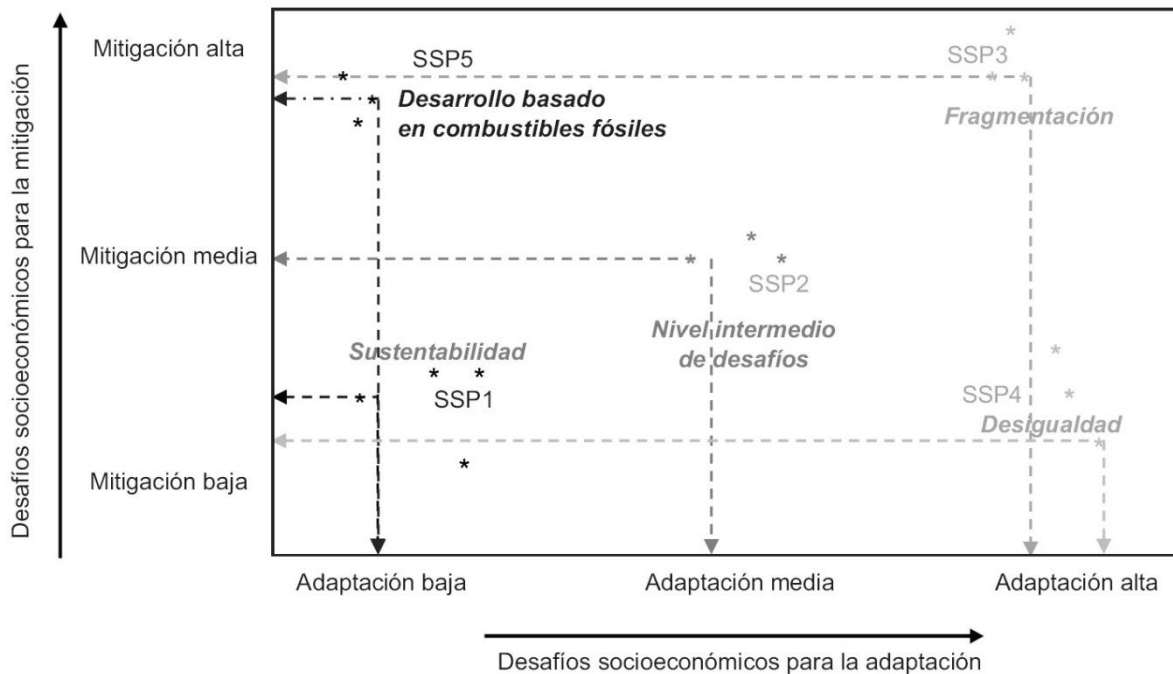


Figura 1. Panorama de los SSP: espacio de desafíos que identifica 5 tipos de escenarios con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación (Escoto Castillo et al., 2017).

Los escenarios que combinan niveles bajos de desafíos de mitigación y adaptación es la SSP1, con la narrativa de “sustentabilidad” donde asume, bajo crecimiento poblacional, alto crecimiento económico, altos niveles de educación, gobernabilidad, una sociedad globalizada, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental, contrario al escenario SSP3 que se describe como de “fragmentación” asumiendo un crecimiento poblacional alto, desarrollo económico bajo, niveles de educación bajos, una sociedad regionalizada y con poca conciencia ambiental, representando un nivel alto de desafíos para la adaptación y la mitigación (O'Neill et al., 2017; Escoto Castillo et al., 2017).

En la SSP4 con la narrativa de “desigualdad”, la tecnología avanza en los países desarrollados, pero no toda la población logra beneficiarse lo que representa un nivel alto de adaptación, mientras el escenario SSP5 asume ,bajo crecimiento poblacional, elevado crecimiento económico, alto desarrollo humano; no obstante, la conciencia ambiental y la dependencia de los combustibles fósiles es aun muy alta, representando un elevado desafío de

mitigación (O'Neill et al., 2017; Escoto Castillo et al., 2017).. Siendo las trayectorias que son relativamente más optimistas son la SSP1 y la SSP5, y las relativamente más pesimistas son la SSP3 y la SSP4, teniendo que los escenarios de la SSP2 se establecen de manera intermedia entre los que corresponden a la SSP1 y la SSP3 (O'Neill et al., 2017; Escoto Castillo et al., 2017).

4.2.3. *Influencia de los Factores Ambientales en las Especies*

Los factores que dan forma a las distribuciones espaciales de las especies son cruciales para la comprensión de los patrones de la biodiversidad y, por tanto, se estudian comúnmente, donde, las distribuciones de especies están restringidas por condiciones abióticas, por ejemplo, el clima, temperatura, precipitación, y condiciones bióticas, por ejemplo, interacciones interespecíficas competitivas, así como el comportamiento del movimiento, como la dispersión o la colonización (Leach et al., 2016).

Los cambios en el clima pueden afectar la distribución de las especies que interactúan, lo que a su vez podría alterar las interacciones, pero las interacciones entre especies también pueden influir en los impactos del cambio climático, por ejemplo, alterando la dinámica de la comunidad (Leach et al., 2016). Donde los efectos del cambio climático sobre las especies según Hughes, (2000), se pueden clasificar en cuatro categorías: I) fisiológicos (fotosíntesis, respiración, crecimiento); II) distribución geográfica (tendencia de algunas especies a desplazarse hacia mayores latitudes o hacia los polos); III) fenológicas (alteración de ciclo de vida por efecto de foto-periodo, horas/frío, etc.); y IV) adaptación (cambios micro-evolutivos in situ). A esto se le agrega que muchas de las especies, sobre todo aquellas de distribución restringida, se incrementa su riesgo de extinción y algunas de hecho se extinguirán por efecto del cambio climático (González Elizondo et al., 2003).

Despland & Houle, (1997), señalan que la temperatura puede regular los límites de distribución de especies de plantas actuando sobre diferentes procesos asociados con la fase regenerativa. Esto sugiere que esta fase del ciclo de vida de las plantas puede actuar como la “etapa de filtro”, determinando la ubicación de las especies en el espacio y, de esta manera, el límite superior de distribución de los bosques (Pais Bosch et al., 2012), Y de acuerdo con el IPCC, para aumentos del promedio mundial de temperatura superiores a 1,5 y 2,5°C y para las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, las proyecciones indican importantes cambios en la estructura y función de los ecosistemas, en las interacciones ecológicas y desplazamientos de

ámbito geográfico de las especies, con consecuencias negativas para la biodiversidad y para los bienes y servicios ecosistémicos (IPCC, 2007).

4.2.4. Cambio Climático en la Región Sur del Ecuador

Los efectos observados en Ecuador a causa del cambio climático se evidencian en la percepción biofísica del territorio, como en el deshielo de los nevados andinos, en el aumento de la temperatura, inundaciones, sequías, aumento del nivel del mar, afectaciones negativas de las actividades productivas y en la biodiversidad, entre otros, (Aguilar et al., 2020). De acuerdo con proyecciones realizadas por Aguilar et al., (2020), la temperatura nacional podría incrementarse en 2°C a excepción de la región Insular y Amazónica, debido a que estas dos regiones presumiblemente mostrarían incrementos de CO₂. Debido a que en el Ecuador en el año 2010 las principales fuentes de emisiones de gases de CO₂ provenían del sector energético con un 44, 49%, uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) con un 30,02%, agricultura con 18,03% y los sectores de residuos y procesos industriales con un 4,16% y 3,30%, respectivamente (Aguilar et al., 2020).

En la Región Sur del Ecuador (RSE), los factores que determinan el clima y sus variaciones se corresponden con aquellos que afectan al resto país como factores geográficos y meteorológicos, entre los que se destacan: latitud, orografía (conjunto relieve-altitud) y la presencia de Océano Pacífico (Samaniego-Rojas et al., 2015). De acuerdo a escenarios hidrológicos realizados para la Reserva Biológica San Francisco en la provincia de Zamora Chinchipe indican que el cambio climático afectara en menor grado a los ecosistemas cuyo funcionamiento dependen en mayor medida del agua; no obstante, los servicios de provisión si se verán afectados, mientras que, para las provincias de Loja y El Oro, en la cuenca Catamayo-Chira, que abarca gran parte de la provincia de Loja, la temperatura media mensual de la cuenca tiende a aumentar a una tasa de 0,13°C por década con puntos críticos en Zapotillo y Espíndola. Mientras tanto, para la cuenca Jubones, que comprende la provincia de El Oro, la de tasa de incremento de temperatura representa 0,31°C por década, con puntos críticos en la zona de El Salado y Saraguro (Aguirre et al., 2015).

Las proyecciones climáticas para el año 2050 con un escenario RCP 2,6, el 65% de RSE tendría niveles de vulnerabilidad moderados al cambio climático, siendo la provincia de Loja la que presentara una vulnerabilidad moderada en un 69% de su territorio, El Oro en un 79% y Zamora Chinchipe en un 53%; mientras que, a nivel cantonal, las áreas más

vulnerables podrían ser Chaguarpamba y Saraguro en la provincia de Loja; Machala, Piñas, Portovelo en la provincia de El Oro; y El Pangui, Yantzaza, Chinchipe y Palanda en la provincia de Zamora Chinchipe, y con respecto a un escenario climático RCP 8,5, los niveles de vulnerabilidad esperados serían de un 73 % de la extensión de la RSE, donde la provincia de El Oro presentaría 62% de vulnerabilidad alta en todo su territorio, Loja un 87% y Zamora Chinchipe 64%, además, se proyectan fuertes impactos en áreas como Piñas, Portovelo, Zaruma, Marcabeli, Atahualpa y Machala de la provincia de El Oro; Paltas, Puyango, Chaguarpamba, Celica, Calvas, Gonzanamá y Saraguro en Loja; El Pangui, Yantzaza, Chinchipe y Palanda en Zamora (Aguirre et al., 2015).

4.3. Uso de Suelo en la Región Sur del Ecuador

El Ecuador en el año 2021 la superficie total de uso de suelo nacional fue de 12,36 millones de hectáreas, presentando una disminución del 1,17% respecto a la superficie total del año 2020 (INEC , 2022). La mayor superficie de uso de suelo está destinada a montes y bosques que representan un 47,91 % del total nacional, los pastos cultivados ocupan el 19,30 % y los cultivos permanentes el 11,56 %, en cuanto a pastos cultivados en 2021, ocupaban una superficie nacional de 2.376.551 hectáreas registrando un incremento del 14,93 % con respecto al año anterior, siendo la región Costa con mayor concentración con 51,51 %, la Sierra con 31,49 % y la Amazonia el 17,00 %; y en cuanto a la superficie con pastos naturales ocupa 646.139 hectáreas, presentando una variación negativa del 25,85 %, con relación al 2020, donde la Sierra representa el 71,66 %, la Costa el 21,28 % y la Amazonía el 7,06 % (INEC, 2022).

En cuanto a la RSE, la provincia de Loja la cobertura más representativa es la que corresponde a Bosque Nativo con un área de 357.661,41 hectáreas; la cobertura de pastizales ocupa 205.974,12 hectáreas; vegetación arbustiva 193.724,54 hectáreas; vegetación herbácea 142.214,41 hectáreas y la cobertura dedicada a cultivo, mosaico agropecuario y otras tierras dedicadas a cultivos ocupan 125.648,45 hectáreas (Prefectura de Loja, 2019). El 18% de la superficie de la provincia está dedicada a la actividad pecuaria, plantación forestal 1,2 %, vegetación arbustiva 17,5 %, vegetación herbácea 12,9 %, cuerpos de agua 0,40 % y páramo 4,2 % (Prefectura de Loja, 2019).

La provincia de El Oro cuenta con una gran diversidad de usos de tipo agropecuario como el cultivo de banano, arroz y camarónes, encontrándose el Bosque Seco y Bosque

Húmedo alterados. Estos usos derivados de las diferentes actividades antrópicas que se realizan en la provincia tienen una incidencia directa sobre el medio natural (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2019). La cobertura que más sobresale en la provincia es el de pasto cultivado que tiene ~1000 km² representados en un 17,68 % de la cobertura superficial de la provincia, las camaroneras tienen un área de ~400 km² que equivale al 6,89 % de la provincia, manglar medianamente alterado tiene un área de ~140 km² correspondientes al 2,49 % del área total provincial, manglar poco alterado representa un área de 11,26 km² que corresponde al 0,19%, ecosistema marino abarca un área de 110 km² equivalentes al 1,87 % de la provincia y el bosque seco medianamente alterado cubre un área de 230 km² que corresponde al 3,96 % de cobertura provincial (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2019).

Por otro lado, en la provincia de Zamora Chinchipe los bosques cubren mayor superficie con 752 000 hectáreas que representan 71,24 % del territorio, la cobertura por pastizales con una superficie de 174 000 hectáreas que representan 16,48 % del territorio, la vegetación arbustiva cubre 60 000 hectáreas que representan 5,72 % del territorio, el páramo abarca una superficie de 39 000 hectáreas que representan 3,77 % del territorio encontrándose únicamente en los cantones de Yacuambi, Zamora, Palanda y Chinchipe y finalmente la vegetación herbácea cubre una superficie de 12 000 hectáreas que representan 1,18 % del territorio (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe, 2019).

4.4. Modelamiento de Distribución de Especies

Los modelos de distribución de especies correlativos (SDM, por sus siglas en inglés) cuantifican la correlación entre factores ambientales y la distribución de especies de flora y fauna (Miller, 2010). Siendo el SDM una metodología con un conjunto de procedimientos, definiciones y técnicas, construida sobre una base de núcleo ecológico y biogeográficas (Whittaker et al., 1973).

Los SDM son modelos cuantitativos y empíricos de las relaciones entre especies y medio ambiente que normalmente se desarrollan utilizando datos de ubicación de especies (abundancia, ocurrencia) y aquellas variables ambientales que influyen en la distribución de las especies (Elith & Franklin, 2013). Por tanto, los SDM se pueden aplicar a cualquier taxón, incluidas las especies marinas, terrestres y de agua dulce, y en cualquier área y extensión, siempre y cuando se disponga de datos apropiados (Elith & Franklin, 2013).

Las aplicaciones de estos modelos son relevantes en investigaciones sobre biología de la conservación, biogeografía, epidemiología, en el impacto potencial del cambio climático sobre la biodiversidad y la agricultura, en las proyecciones de ocurrencia geográfica de las especies invasoras y en la identificación de zonas y regiones geográficas que requieren ser explorados (López-Sandoval et al., 2015).

4.4.1. Calibración

La calibración del modelo se refiere a los análisis estadísticos asociados a buscar el ajuste del modelo que posteriormente se proyectara en el espacio geográfico (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Además, la calibración es el ajuste de los parámetros y constantes del modelo para incrementar la coherencia entre los datos de entrada y los resultados (Benito & Peñas, 2007). En este sentido, es posible influir en la calibración de los distintos modelos desde los datos de entrada, preparando convenientemente la muestra de localizaciones de la especie y seleccionando cuidadosamente las variables ambientales, y a través de los parámetros internos de cada algoritmo (Benito & Peñas, 2007).

4.4.2. Evaluación

Los modelos de distribución basados en presencia-ausencia habitualmente se evalúan utilizando una muestra de evaluación independiente de la utilizada para entrenar los modelos compuesta por registros de presencia-ausencia independientes de los utilizados para el entrenamiento de los algoritmos (Benito & Peñas, 2007). A partir de esta muestra de evaluación pueden calcularse: a) los casos correctamente clasificados, que son verdaderos positivos cuando el modelo predice presencia y ésta es confirmada por las presencias de la muestra de evaluación y verdaderos negativos cuando el modelo predice ausencia y ésta es confirmada por las ausencias de la muestra de evaluación. b) los casos erróneamente clasificados, que son falsos positivos cuando el modelo predice presencia y la muestra indica ausencia (error de comisión), y falsos negativos cuando el modelo predice ausencia y la muestra indica presencia (error de omisión) (Benito & Peñas, 2007).

Hay análisis estadísticos llamados umbral-independiente, es decir que se aplican para evaluar la precisión del modelo sobre el mapa de valores continuos, sin la necesidad de calcular un valor de corte o umbral; siendo los más utilizados AUC, Kappa y TSS (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). El método umbral-independiente más conocido es el AUC (Area

under the curve) que se obtiene comparando la proporción de falsos y verdaderos positivos, es decir, desplegando en dos ejes X e Y, la proporción de falsos positivos (1-especificidad) y en el eje Y la proporción de positivos verdaderos (sensitividad) (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011).

4.4.3. Tipo de Datos: Presencia / Ausencia

La información sobre la presencia-ausencia de las especies se puede obtener de varias formas, la más común y fácil de adquirir son a partir de datos de campo que reflejen los sitios de avistamiento de las especies, esta vía constituye una fuente de información confiable porque asume que el sitio donde se detecta un individuo forma parte de su hábitat, sin embargo, no se debe ser absoluto porque pueden presentarse casos de falsas ausencias (García-Quintas & Ávila, 2012). Otra manera para la obtención de la información referente a la distribución de especies, está recogida en colecciones de historia natural-museos o herbarios, cada día más fácilmente accesibles, no obstante, suelen presentar inconvenientes como: solo registrar datos de presencia y no de ausencia, y un porcentaje variable pero significativo presenta errores de georreferenciación e identificación taxonómica (Mateo et al., 2011).

4.4.4. Selección de Variables Topográficas y Bioclimáticas

Los factores ambientales tienen un efecto sobre la distribución de las especies, ya sea de una forma directa o indirecta; estas relaciones entre organismo y medio abiótico son una de las causas de los patrones espaciales de distribución, lo que hace que la distribución de los organismos sea descrita correctamente bien por factores climáticos a escalas espaciales amplias (kilómetros), sin embargo, a escalas menores (cientos de metros o menos), es probable que la distribución responda a factores como la distribución de recursos y variaciones micro topográficas en las condiciones ambientales (Mateo et al., 2011). En el contexto de modelado de distribución de especies, las variables climáticas y topográficas son los predictores más utilizados en SDM, ya que describen tolerancias fisiológicas a gran escala y representar tanto gradientes directos (temperatura) como de recursos (humedad) como variables de resumen (precipitación anual) o variables más complejas y presumiblemente más relevantes desde el punto de vista ecológico (Miller, 2010).

Hay dos tipos principales de variables utilizados comúnmente en la modelación de la distribución de especies, el primero de ellos las variables climáticas (bioclimáticas) y el segundo las variables topográficas, siendo el primero de ellos el más utilizado independientemente del tipo de entidad natural, debido a la facilidad para conseguirlo porque hay una base de datos globales de alta resolución (alrededor de 1 km) de libre acceso y uso (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Una de las estrategias más utilizada es trabajar en grupo de variables bioclimáticas predeterminadas tales como es el caso de 19 variables bioclimáticas disponible en bases de datos globales sobre clima global de la superficie (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Guisan & Zimmermann, (2000), describen los muchos usos de los modelos digitales de elevación en SDM, además de que proporcionan la base para derivar variables topográficas más complejas, pudiendo combinarse con geoestadística con el fin de interpolar datos de estaciones climáticas, se pueden utilizar para estratificar muestras y se usan para rectificar (corregir) imágenes de sensores remotos, por otro lado, algunos modelos han tenido en cuenta variables de tipo demográfico y de ocupación del espacio, como índices de población, accesibilidad, densidad o proximidad a vías de comunicación, que son útiles como indicadores del grado de influencia antrópica (Mateo et al., 2011)

4.4.5. Técnicas de Modelación

Se pueden distinguir cuatro grandes grupos de técnicas de modelación de la distribución geográfica de las especies/ecosistemas: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados, (GLM), Modelos Aditivos Generalizados (GAM), los métodos de clasificación (Random Forest (RF), Boosted regresión trees (BRT)), los métodos de "sobre" (BIOCLIM, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT) (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Modelos estadísticos de regresiones: Este tipo de modelos basados en regresiones múltiples, fueron los más utilizados para la modelación (Guisan et al., 2002). Debido a que permiten establecer de forma clara el modelo estadístico que describe la relación entre las variables descriptivas y la presencia conocida de las especies/ecosistemas (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Además, de que, en las evaluaciones comparativas, este tipo de método ha demostrado ser una de las técnicas de mejor resultado en la proyección sobre el espacio geográfico del modelo final (Elith et al., 2006).

Métodos de clasificación: Los métodos de clasificación resultan de la clasificación basadas en reglas, donde se asigna una clase para cada combinación de las variables predictivas que generaran el modelo de distribución, siendo Random Forest una de las técnicas más utilizadas. (Guisan & Zimmermann, 2000). Siendo este método identificado como las de mejor resultado al momento de discriminar la importancia de las variables para la definición del modelo final (Prasad et al., 2006). No obstante, la caracterización del conjunto de reglas que define el modelo final es muy complejo haciendo difícil la interpretación (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Métodos de “sobre”: Este método se basa en establecer combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos, entre las variables utilizadas para la definición del nicho (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011). Posteriormente se define un espacio o “sobre”, donde se da la combinación de valores deseada, dentro del espacio n-dimensional de las variables (Busby, 1991). Este tipo de método es el más antiguo dentro de la modelación, puesto que ofrece una definición poco flexible del espacio ambiental, sin considerar los diversos tipos de interacciones que se dan entre las variables (por ejemplo, la colinealidad) o el efecto de la distancia geográfica entre las presencias (autocorrelación espacial) (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Algoritmos específicos para generar modelos de distribución: En los últimos años ha cobrado fuerza la implementación de técnicas basadas en algoritmos específicos (máxima entropía, algoritmos genéricos), lo que ha significado en un aumento exponencial en el número de publicaciones y estudios asociados a la modelación de la distribución geográfica de las especies y ecosistemas, esto por la facilidad de aplicación y rápida obtención de resultados (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011). Bajo este contexto destaca el software MAXENT, el cual, usando un algoritmo de máxima entropía, logra obtener resultados robustos en términos de la proyección espacial de la distribución, principalmente cuando se cuenta con pocos datos de presencias, no obstante, la relevancia de las variables ambientales y su evaluación estadística se mantiene en discusión (Townsend Peterson et al., 2007; Phillips et al., 2006; Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Ensamblajes de técnicas: Este tipo de técnica tiene como finalidad el disminuir las incertidumbres asociadas a los modelos de distribución, especialmente a los relacionados con la validación estadística de los resultados (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011). BIOMOD es un

ejemplo dentro del ensamble de técnicas, el cual permite aplicar a la vez diez técnicas de modelación (Thuiller et al., 2009). Es un software programado en el lenguaje estadístico R, el cual ha sido utilizado principalmente para el análisis de proyecciones de distribución actual bajo escenarios de cambio climático, análisis del nivel de protección actual y futuro de especies con problemas de conservación (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

4.5. *Cinchona officinalis* L

4.5.1. *Distribución en el Mundo y Ecuador*

El árbol cascarilla o quina, del género *Cinchona*, es nativo de los valles andinos de Sudamérica, se distribuye entre los 1 000 a 3 500 m.s.n.m, en Venezuela, Colombia, Bolivia y Perú. A nivel de Ecuador se distribuye a lo largo de la zona tropical y ecuatorial de la cordillera de los Andes, a partir 12° de latitud norte hasta 20° de latitud sur, hallándose en alturas que van desde los 700 m.s.n.m hasta los 2 900 m.s.n.m (Eras et al., 2019). Así mismo en el país está distribuido 12 especies del género *Cinchona*, principalmente en provincias como El Oro, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Morona Santiago, Azuay, Loja y Zamora Chinchipe (Eras et al., 2019).

4.5.2. *Características Morfológicas y Ecológicas*

Cinchona officinalis L., es un árbol forestal mediano de 16 m de altura, con un diámetro aproximado de 28 cm, su fuste es leñoso y ramificado, su corteza es de color gris y de 0,5 cm de espesor (Loján, 1992). Además, la cascarilla se caracteriza por tener hojas coriáceas, proporcionalmente angostas (1,8 a 2,7 cm de largo y ancho), totalmente glabras en ambos lados y por tener un fruto con endocarpio leñoso grueso, donde las flores son rosadas o purpuras, con una corola tubular de 8 – 13 cm de longitud (Eras et al., 2019). Se propaga por semillas y las plantas que se obtienen por semillas poseen un desarrollo muy lento, siendo el tipo de germinación para esta especie epigea, y el principal agente dispersante es el viento y el agente polinizador son las aves (Loján, 1992).

La especie de *C. officinalis* L., puede adoptar una gran variedad de formas diferentes incluso dentro de una misma “mancha”, siendo una especie característica de los bosques nublados andinos en general, por otro lado, se puede decir que el género *Cinchona* es muy exigente en cuanto a las características ambientales de cada una de sus especies, lo que apoya

a la explicación sobre la abundancia de endemismo que se basa en la especialización a determinados ambientes (Garmendia, 2005).

4.5.3. Estado de Conservación

En el siglo XVII se hace hincapié que la quina o cascarilla proveniente del valle de Loja-Ecuador era la de mejor calidad, lo que ocasionó la explotación masiva de los cascarilleros y grandes beneficios económicos para el comercio por la compra a esta región (Armijos González, 2016), debido a sus propiedades medicinales que fueron utilizadas contra la Malaria (Warhurst et al., 2003), y por su alta rentabilidad que ha tenido y tiene su corteza (Tapia Alvarado, 2013). Siendo los bosques de Cajanuma y Uritusinga ubicados en la provincia de Loja los lugares mayormente explotados, siendo estas las principales fuentes de explotación de *Cinchona officinalis* hasta el siglo XIX, provocando su desaparición total en muchos sitios a causa de una explotación no sustentable de este recurso natural (Armijos González, 2016).

La demanda por la corteza ha disminuido notablemente, pero en el presente, factores como la modificación del hábitat para actividades de cultivo, crianza de animales, tala de árboles, construcción de vías, colonización, entre otras han ocasionado la reducción y fragilidad del hábitat de *Cinchona officinalis* L (Armijos González, 2016). Según Tapia-Armijos et al., (2015), el porcentaje de deforestación en la Región Sur del Ecuador en el periodo 1989-2008 fue de 2.86% mayor a los años anteriores habiéndose transformado el 46% de la cobertura vegetal, a causa de la deforestación y la fragmentación, lo cual influye directamente sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad.

La *C. officinalis* L., debido a su endemismo, propiedades medicinales, descubrimientos en el Ecuador, provisión de corteza de *Cinchona* al resto del mundo, valor económico de exportación entre otras, fue denominada como “Planta nacional del Ecuador” considerando que ésta representa fitológicamente al Ecuador (Acosta-Solis, 1989).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la RSE, que incluye las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe (Figura 2), cubriendo una superficie aproximada de 40 000 km² (Lozano, 2002).

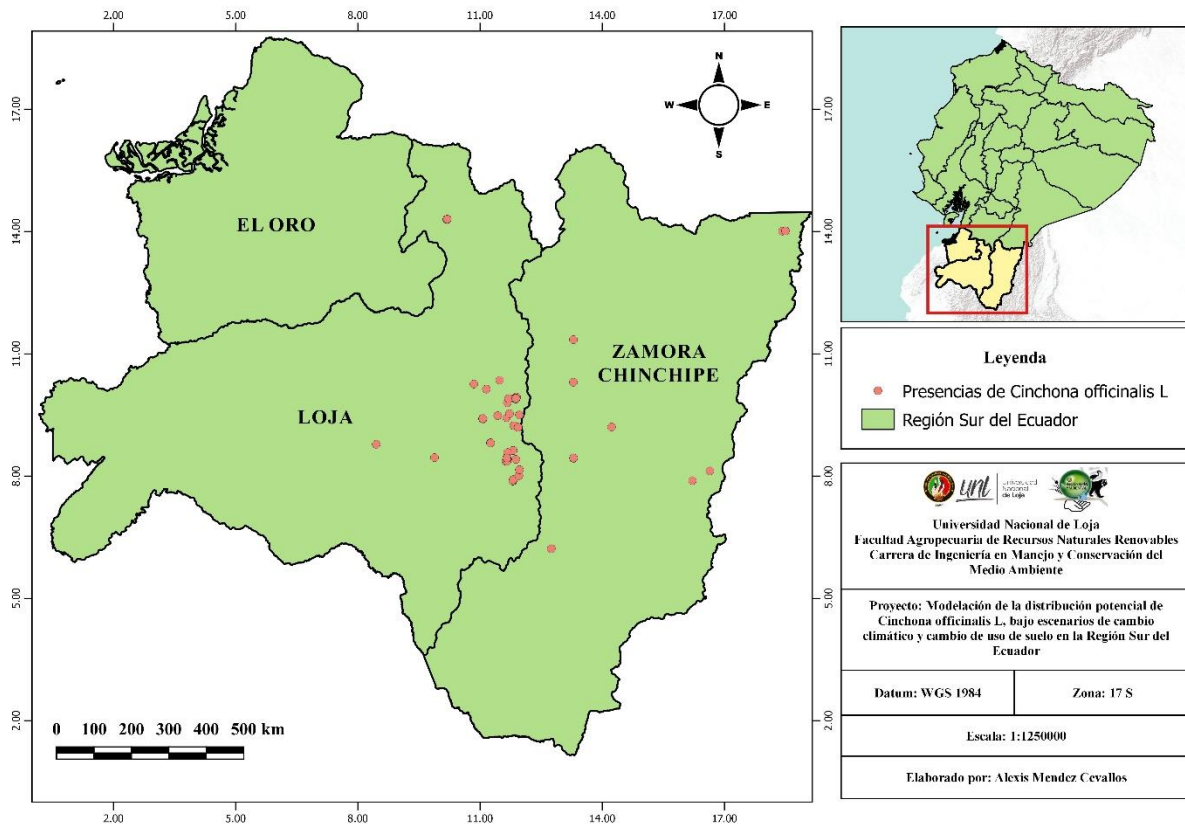


Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de la Región Sur del Ecuador.

Provincia de Loja: Posee una superficie de 11.063,79 km², y corresponde al 4,3 % del territorio nacional, limita al Norte con las provincias de Azuay y El Oro, al Sur y al Oeste con la República del Perú, al Este con Zamora Chinchipe, y presenta una altimetría que va desde los 120 hasta 3 880 m.s.n.m, prevalecen el clima tropical, subtropical y temperado, con rangos de temperatura que van desde los 10 °C a más de 26 °C (Prefectura de Loja, 2019).

Provincia de El Oro: Tiene una superficie de 5.791,85 Km², que representa el 2,15 % de la superficie nacional, limita al Norte con las provincias de Guayas y Azuay, al Sur la

provincia de Loja y Perú, al Este las provincias de Azuay y Loja y al Oeste Perú y el Océano Pacífico; presenta un rango altitudinal de 0,50 m.s.n.m a 3 580 m.s.n.m, con temperatura en la zona media alta de la provincia que oscilan entre los 14 °C y los 22 °C, con precipitaciones anuales de 1 500 mm distribuidos durante todo el año y la zona baja prevalecen las temperaturas que varían entre los 18 °C a los 30 °C con una precipitación anual de 550 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2015).

Provincia de Zamora Chinchipe: Cubre una superficie de 10.572,03 Km², que representa el 4,4 % del territorio nacional, limita al Norte con la Provincia de Azuay y Morona Santiago, al Sur con la República del Perú, al Este con la República del Perú y al Oeste con las Provincias de Azuay y Loja, presentan un rango altitudinal que oscila entre 815 hasta 2800 m.s.n.m, y cuenta con precipitaciones de 2 000 mm / año con una temperatura de 17 °C y 22 °C (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe, 2019)

5.2. Diseño de Investigación

El presente estudio es de tipo correlacional, se analizan variables correspondientes a datos climáticos, topográficos y presencias de la especie de *Cinchona officinalis* L. Las observaciones de la especie deben ser de al menos 30 (Brun et al., 2020). Esta información fue obtenida a partir del portal web GBIF (<https://www.gbif.org/>), complementándose con información de registros de herbarios e investigaciones previas. Con el fin obtener información sintetizada mediante modelos de distribución potencial de *C. officinalis* L., en la RSE para el período actual, así como para los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, la modelación se realizó haciendo uso de Biomod2 v4.0 (Thuiller W et al., 2022), implementado en el software R Core Team, (2021). Posteriormente se usó el modelo para evaluar la distribución potencial de *C. officinalis* L, en cuanto a la pérdida y ganancia de superficie para su desarrollo, además, se realizó una comparación de los modelos de cambio de uso de suelo con los modelos de distribución potencial con el fin de analizar la dinámica de uso de suelo sobre la distribución de *C. Officinalis* L, y los efectos potenciales sobre la distribución de esta especie en la RSE bajo distintas dinámicas espaciales, temporales y escenarios de cambio climático.

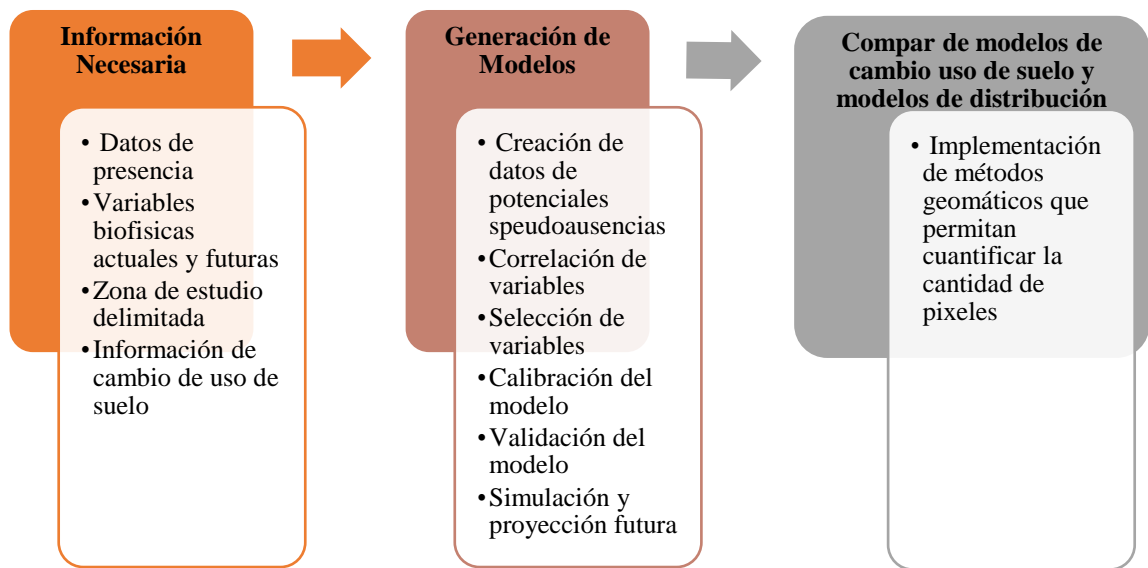


Figura 3. Organigrama de la metodología seguida para la presente investigación.

5.3. Metodología para modelar la distribución potencial de *Cinchona officinalis* L

Para dar cumplimiento al primer objetivo de modelar zonas de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, para el período actual y para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, se usó Biomod2 v4.0 (Thuiller W et al., 2022), implementado en R Core Team, (2021). Biomod2 v4.0 ofrece la posibilidad de ejecutar 10 técnicas de modelación (Tabla 2) para ejecutar y modelar las relaciones entre una especie determinada y su entorno, utilizando variables bioclimáticas derivadas de la temperatura y precipitación, con el potencial de realizar proyecciones futuras bajo escenarios de cambio climático y de cambio de uso de suelo (Thuiller et al., 2016).

5.3.1. Datos de presencia / ausencia

Los registros de presencia de la especie de *Cinchona officinalis* L, correspondieron a puntos georreferenciados donde la especie ha sido observada, para lo cual es importante contar con al menos 30 observaciones de la especie (Brun et al., 2020). Datos que se obtuvieron a partir de una base de datos GBIF (<https://www.gbif.org/>) y de consultas en fuentes de información secundaria como: tesis manuales, artículos científicos de investigaciones realizadas a nivel nacional y regional.

Para realizar la modelación de la distribución potencial se utilizaron registros de la especie a nivel de todo el territorio del Ecuador. Se contó con un total de 300 puntos de C.

officinalis L, adicional a ello se generó en QGIS, (2021), 10 000 puntos de ausencias usando la herramienta Create Random to Point. Los puntos de ausencia mediante la ejecución de un algoritmo en R (Anexo 2), fueron transformados en potenciales pseudoausencias.

Para generar el modelo de distribución potencial con los datos de presencia, se creó un documento en formato tipo CSV, donde se indicó tres campos importantes: X (longitud), Y (Latitud) y nombre de la especie, en este último campo los puntos de presencia fueron representados por el número 1 y los puntos de ausencias por el número 0. Los campos para las coordenadas X y coordenadas Y, fueron expresadas en el sistema de coordenadas geográficas (Datum, WGS 84).

5.3.2. Variables bioclimáticas

En la realización de la presente investigación se trabajó con variables bioclimáticas (Tabla 1), las mismas que permiten representar significativamente la distribución potencial en el espacio geográfico y espacio climático de la especie en estudio. Estas variables se utilizaron minuciosamente, debido a que pueden presentar problemas en cuanto a los valores de las variables en las zonas del país en donde no exista una buena cobertura de estaciones meteorológicas (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Las condiciones bioclimáticas presentes y futuras se obtuvieron a partir del portal web de CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), (<http://www.ccafs-climate.org/>). Además, se consideran variables topográficas como elevación, pendiente y aspecto a resolución espacial de 1 km, está información se extrajo a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) de la RSE. Todo este conjunto de variables permite explicar la distribución potencial de *Cinchona officinalis* L en la RSE.

Tabla 1. Variables bioclimáticas.

	Variables Bioclimáticas	Unidades
BIO1	Temperatura media anual	°C
BIO2	Rango medio de temperatura diurna	°C
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$)	%
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)	
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	°C

BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
BIO9	Temperatura media del cuarto más seco	°C
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
BIO11	Temperatura media del cuarto más frío	°C
BIO12	Precipitación anual	mm
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	mm
BIO14	Precipitación del mes más seco	mm
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	%
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo	mm
BIO17	Precipitación del cuarto más seco	mm
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	mm
BIO19	Precipitación del cuarto más frío	mm

Fuente: Worldclim.org

5.3.3. Calibración del modelo

El modelo de distribución potencial se realizó combinando los registros de presencias y pseudoausencias de la especie con las variables ambientales elegidas, 19 variables bioclimáticas y cuatro variables topográficas. Para el conjunto de las 23 variables biofísicas, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) y de correlación de Pearson (Anexo 3) con la finalidad de seleccionar las variables explicativas, para seguidamente realizar la validación de datos (Anexo 4). Posteriormente, mediante la ejecución de un algoritmo (Anexo 5) se hizo uso de las 10 técnicas de modelación (Tabla 2) que Biomod2 ofrece con la finalidad de obtener modelos más robustos y de mejor calidad al momento de realizar los ensambles finales. Adicionalmente se aplicó la prueba Jackknife (Anexo 6), que permitió determinar las contribuciones individuales de cada una de las variables al modelo según lo recomendado (Kamyo & Asanok, 2020).

Tabla 2. Técnicas para la construcción de modelos de distribución de especies.

Métodos de modelación presentes en BIOMOD2	
Técnica	Nombre
ANN	Artificial Neural Networks
SRE	Surface Range Envelop or usually called BIOCLIM
CTA	Classification Tree Analysis
FDA	Flexible Discriminant Analysis
GAM	Generalized Additive Models
GBM	Generalized Boosting Model or usually called Boosted Regression Trees

GLM	Generalized Lineal Models
MARS	Multivariate Adaptive Regression Splines
MAXENT PHILLIPS	Maximum Entropy
RF	Random Forest

Fuente: Thuiller et al., (2016).

5.3.4. Evaluación del modelo

Para la evaluación de cada modelo en la etapa de simulación, se implementaron dos métodos, ROC y TSS, para ellos se utilizó el 70 % de los registros totales de presencia para la calibración y el 30 % para la evaluación de los modelos. Los valores de las salidas tanto de ROC y TSS debían mostrar valores superiores a 0.8 en cada técnica de evaluación donde aquellos modelos que no superaron este umbral, fueron descartados para la construcción de los ensambles finales.

Mediante el estadístico ROC es posible calcular la sensibilidad y especificidad de los valores de las ocurrencias de la especie al interceptar las presencias con las capas de cada uno de los modelamientos obtenidos, donde curva ROC se fundamenta en base a la unión de distintos puntos de corte, correspondientes el eje Y “sensibilidad” y el eje X “1-especificidad” de cada uno de ellos, los dos ejes contienen valores entre 0 y 1 (Yáñez-Cajo et al., 2015). Donde valores de 0,5 se consideran como modelos sin poder predictivo, iguales o peores que un modelo X hecho al azar, mientras que las métricas de 0,7 a 0,9 califican a los modelos como buenos y los valores por arriba de 0,9 los consideran excelentes (Mateo et al., 2012); Manel et al., 2001). Y el índice TSS representa la sensibilidad + especificidad – 1, y varía de – 1 a + 1, donde valores cercanos a + 1 indica concordancia perfecta y valores de cero o meno indican un desempeño no mejor que el aleatorio (Allouche et al., 2006; Ruete & Leynaud, 2015).

5.3.5. Simulación o proyección

La última etapa del modelamiento de especies es la simulación, la misma que fue implementada luego de haber evaluado el desempeño de los modelos y se implementará un umbral específico que permitía identificar los valores inferiores al umbral como ausencia de las especies y valores superiores al umbral fueron considerados como presencias. Posteriormente, se realizó un ensamble de todos aquellos modelos que superaron el umbral de

0.8 en los Test ROC y TSS (Anexo 7), lo que nos permitió obtener mejores resultados. En esta etapa, se modeló la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, hacia el futuro (2030, 2050 y 2080) bajo 2 escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, los mismos que nos permitió evaluar el grado de desarrollo o limitaciones que podría tener esta especie en el futuro cercano.

5.4. Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de *Cinchona officinalis* L

Se utilizó información geográfica de cobertura terrestres basados en PFT (Plant Functional Type) global de 1 km desde 2015 hasta 2100 con intervalos de 5 años bajo los últimos escenarios de acoplamiento del IPCC de cambio socioeconómico y climático SSP – RCP, y que comprende 20 tipos de cobertura; este conjunto de datos terrestres están disponibles públicamente y son de código abierto en <http://www.geosimulation.cn/Global-SSP-RCP-LUCC-Product.html> o <https://doi.org/10.5281/zenodo.4584775> (Chen et al., 2022).

A los modelos de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo los escenarios de cambio climático para los años 2030, 2050 y 2080, mediante el cruce de capas con el tipo de suelo PFT bajo escenarios SSP – RCP para 2015 y 2100, se determinó el área de distribución potencial considerando la superficie que abarca los usos de suelo de cobertura antrópico y natural.

De los tipos de suelo PFT bajo escenarios SSP – RCP para 2015 y 2100 fueron utilizados el tipo de suelo PFT bajo escenarios SSP2 – RCP 4.5 y SSP4 – RCP 6.0, ambos para los años 2030, 2050 y 2080, adicionalmente se dividieron los 20 tipos de cobertura de suelo en dos categorías antrópico y natural (Tabla 3). Para cuantificar el área de distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, menos el cambio de uso de suelo, se cortó cada archivo SHP de ganancias, persistencias y pérdidas con el área de uso de suelo antrópico para la Región Sur del Ecuador. Con esta información se calculó el área de pérdidas, persistencias y ganancias considerando la información de los cambios de uso de suelo anteriormente descritos. El área calculada de pérdidas corresponde al área de distribución potencial que pierde por año (2030, 2050 y 2080) y por escenario (RCP 4.5 y 6.0) con respecto al área de distribución potencial del escenario actual, de igual forma se lo realizó para el cálculo del área de ganancias y persistencias

Tabla 3. Coberturas terrestres basados en PPT (Plant Functional Type) bajo escenarios SSP – RCP en 2015 y 2100 según categoría.

Land use classification	Category
Water	
Broadleaf evergreen tree, tropical	Natural
Broadleaf evergreen tree, temperate	
Broadleaf deciduous tree, tropical	
Broadleaf deciduous tree, temperate	
Broadleaf deciduous tree, boreal	
Needleleaf evergreen tree, temperate	
Needleleaf evergreen tree, boreal	
Needleleaf deciduous tree	
Broadleaf evergreen shrub, temperate	
Broadleaf deciduous shrub, temperate	
Broadleaf deciduous shrub, boreal	
C3 grass, arctic	
C3 grass	
C4 grass	
Mixed C3/C4 grass	
Barren	
Cropland	
Urban	
Permanent snow and ice	

Fuente: Chen et al., (2022)

5.5. Análisis estadístico

Se realizó un proceso de filtros estadísticos de las 23 variables (19 variables bioclimáticas y 4 topográficas) para conocer el conjunto de variables y de mayor utilidad para generar los modelos de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, (Barredo, 2016).

Con la finalidad de eliminar multicolinealidad y sobre ajuste de los modelos se implementaron dos métodos para seleccionar las variables que serán utilizadas. El primero de ellos fue por medio del método de correlación de Pearson por pares de variables con un umbral de 0.7, eliminando variables que estuvieron correlacionadas sobre este umbral (Feng et al., 2019). Y el segundo método implementado es el Variance inflation factor (VIF), el cual proporciona una medida que permite estimar las variables menos colineales, dicho valor debe ser $VIF < 10$ en primera instancia y $VIF < 5$ en un segundo análisis (Carmona Balanta & García Polanco, 2019). Estos métodos se encuentran implementados en las librerías “corrplot” y “ecospat” para correlación, y “usdm” para VIF, todas ellas implementadas en el software R Core Team, (2021).

6. Resultados

6.1. Distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, para el período actual y para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0.

Para el cumplimiento del primer objetivo, se obtuvo un total de 300 puntos de presencias para para la modelación de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L. Los datos en su mayoría obtenidos de investigaciones previas, mientras que los restantes del portal web GBIF.

El análisis de la correlación de Pearson por pares, determinó que las variables Bio1, Bio 2, Bio 4, Bio 5, Bio 6, Bio 8, Bio 9, Bio 10, Bio 11, Bio 12, Bio 13, Bio 14, Bio 16 y Bio 17, se encontraban por encima del umbral establecido de 0.7, descartando estas variables como predictoras de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L. Y en conjunto con el análisis Variance inflation factor (VIF), donde, dicho valor debía ser $VIF < 10$ en primera instancia y $VIF < 5$ en un segundo análisis, los resultados de estos análisis determinaron que el número de variables ambientales que debían considerarse para los modelos eran un total de nueve (Tabla 4).

Tabla 4. Variables ambientales seleccionadas como predictores de la distribución potencial actual y futura de la especie de *Cinchona officianalis* L.

Variables	Variable
Aspect = Aspecto	Topográfica
Bio 15 = Estacionalidad de la Precipitación	Bioclimática
Bio 18 = Precipitación del trimestre más cálido	Bioclimática
Bio 19 = Precipitación del trimestre más frío	Bioclimática
Bio 3 =Isotermalidad (Bio2/Bio7) (x100)	Bioclimática
Bio 7 = Rango Anual de Temperatura (Bio5-Bio6)	Bioclimática
Dem = Elevación	Topográfica
Hillshade = Sombreado	Topográfica
Slope = Pendiente	Topográfica

En la Tabla 5, se muestra los resultados de la evaluación de la capacidad predictiva de las técnicas de modelación, donde tomaron valores de mayor a 0.9 para TSS a excepción la técnica de modelación ANN que obtuvo un valor de 0.846 y para ROC de igual forma todos los modelos obtuvieron valores superiores a 0.9. Estos resultados ubican que los modelos generados dentro del rango máximo para el test TSS (dónde se clasifica como “excelente”) y para el test ROC (dónde se clasifica como “excelente”). Con estos resultados parece que el rendimiento de los modelos para representar la distribución potencial de la especie de *C. Officinalis* L, es bastante bueno, por lo que muy probablemente, se estén obteniendo resultados acordes a la realidad.

Tabla 5. Evaluación de las técnicas de modelación con los test Receiver Operating Characteristic (ROC) y True Skill Statistic.

Modelo	ROC	TSS
GLM	0.988	0.930
GBM	0.982	0.938
CTA	0.972	0.944
ANN	0.921	0.846
SER	0.954	0.909
FDA	0.960	0.905
MARS	0.989	0.929

RF	0.985	0.949
MAXENT Phillips	0.963	0.925

El área de distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual (Figura 4), fue de 403.263,83 ha correspondientes al 14,73% de la superficie total de la RSE. Siendo la provincia de Loja la que obtuvo mayor superficie de área potencial de distribución con 259.239,74 ha (64,29 %), seguido por la provincia de Zamora Chinchipe con 134.133,81 ha (33,26 %) y el Oro con 9 890,28 ha (2,45 %).

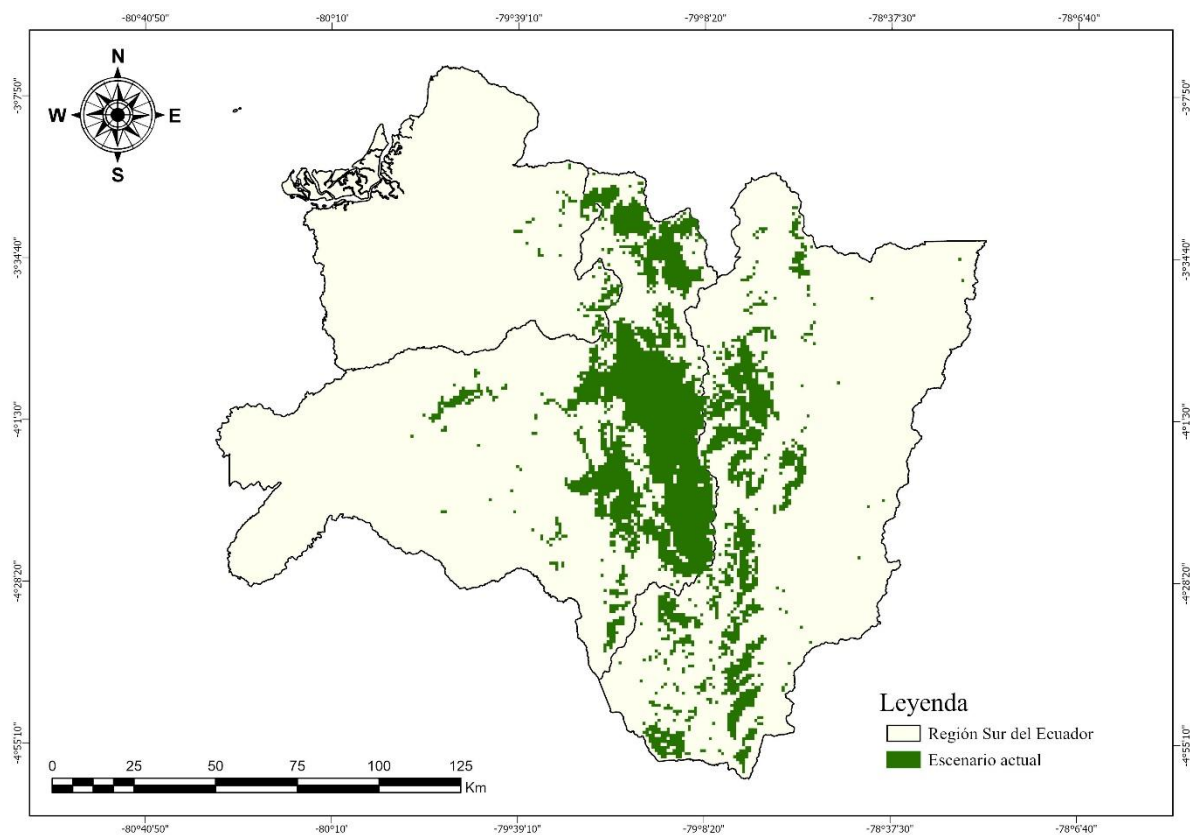


Figura 4. Área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual.

En cuanto a la modelación de la distribución potencial futura de *Cinchona officinalis* L, para los años 2030, 2050 y 2080. En todas las proyecciones bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 tienden a disminuir en área en comparación a la distribución potencial actual (Tabla 5, Tabla 6).

La distribución potencial de *C. officinalis* L, para el año 2030 bajo el escenario climático RCP 4.5 (Figura 5 y Tabla 6) muestra una probabilidad de pérdida de – 282.400,07 ha (- 10,32 %), equivalente a más de la mitad de la distribución potencial actual. El incremento de área bajo este escenario es de 62.773,50 ha (2,29 %), con una persistencia de 120.887,30 ha (4,42 %) con respecto a la distribución actual.

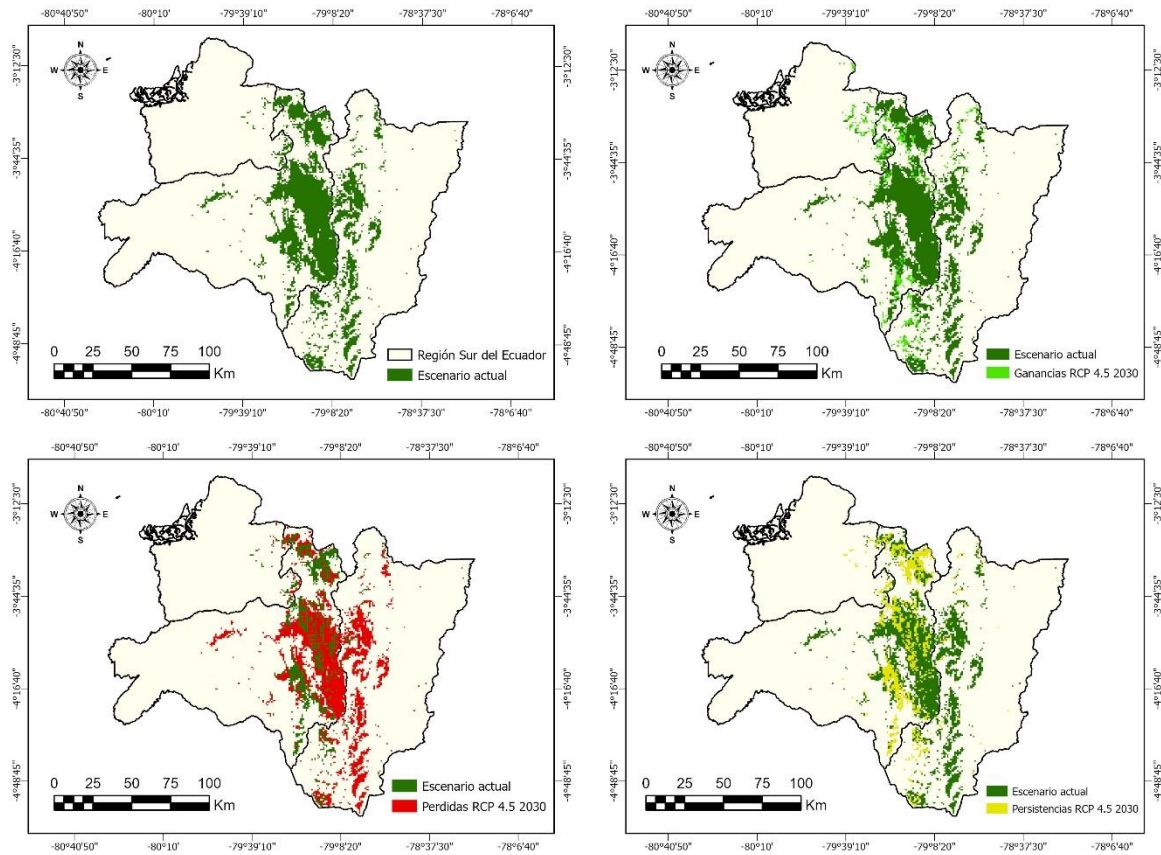


Figura 5. Distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2030.

En la Figura 6 y Tabla 6, se muestra la probabilidad de la distribución potencial para el año 2050 bajo el escenario climático RCP 4.5, donde podría haber pérdidas de – 301.004,78 ha (- 11.00 %), con respecto a la distribución potencial actual, presentando una probabilidad de ganancia de área de distribución potencial de *C. officinalis* L, de 60.122,90 ha (2,2 %) en contraste a los años 2030 y 2080, donde la presencia de *C. officinalis* L, podría extenderse a una área de ~3000 ha con respecto a la distribución actual, manteniendo una persistencia en cuanto a la presencia de *C. officinalis* L, de 102.282,59 ha (3,74 %) para el año 2050 con respecto a la distribución del escenario actual.

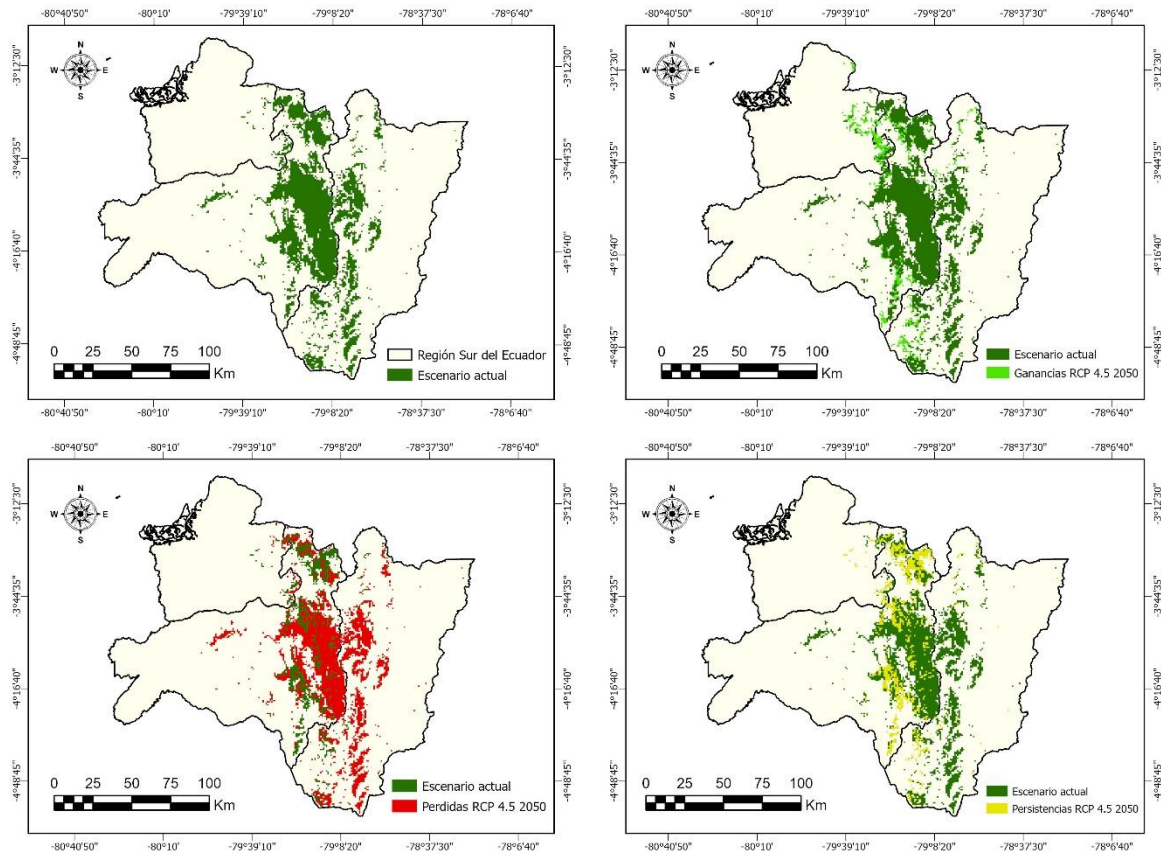


Figura 6. Distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2050.

El modelo generado bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2080 (Figura 7 y Tabla 6), determinó que la probabilidad de presencia en la RSE, tiene un aumento de 53.199,24 ha (1,94 %), es decir, aproximadamente 10 000 y 7 000 ha menos de acuerdo a la probabilidad de presencia para los años 2030 y 2050 respectivamente. Los valores de pérdida de área de con respecto a la distribución actual es de - 287.809,78 ha (-10,51 %), con 115.477,62 ha (4,22 %) de permanencia.

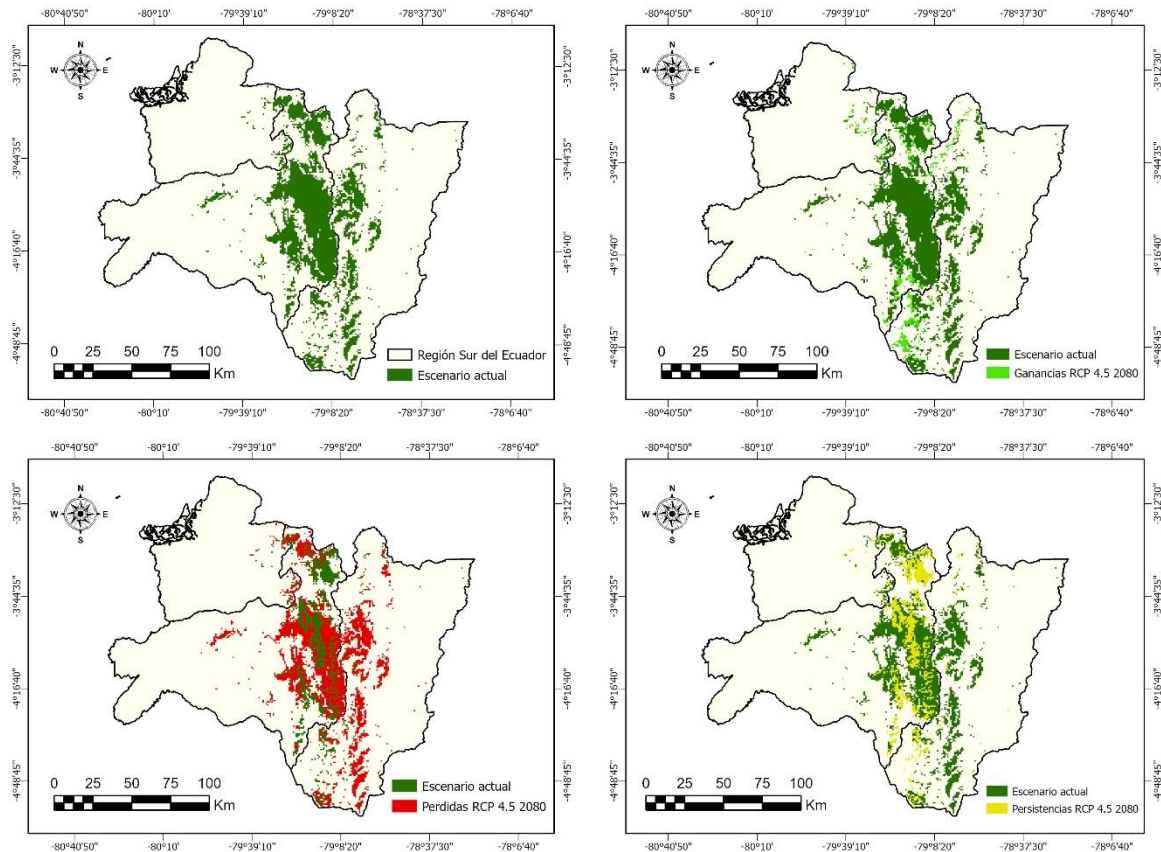


Figura 7. Modelación de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 4.5 para el año 2080.

Los modelos generados para el escenario climático RCP 6.0 para todos los periodos (2030, 2050 y 2080), muestran que la probabilidad de aumento de la presencia de *C. officinalis* L, es menor, con una probabilidad de perdida y permanencias mayor, esto en comparación a los modelos bajo el escenario climático RCP 4.5, en el cual de acuerdo al IPCC (2014), las emisiones de GEI alcanzan su punto máximo alrededor del año 2040 y para el RCP 6.0 las emisiones de alcanzan su punto máximo alrededor del año 2080 y luego disminuyen.

El modelo bajo el escenario RCP 6.0 2030 (Figura 8 y Tabla 6), muestran que la probabilidad de aumento de presencia de la especie de *C. officinalis* L, es de 59.713,78 ha (2,18 %) con respecto a la distribución actual, mientras que la probabilidad de perdida es de – 302.340,34 ha (-11,04 %) con persistencias de 100.947,05 ha (3,69 %).

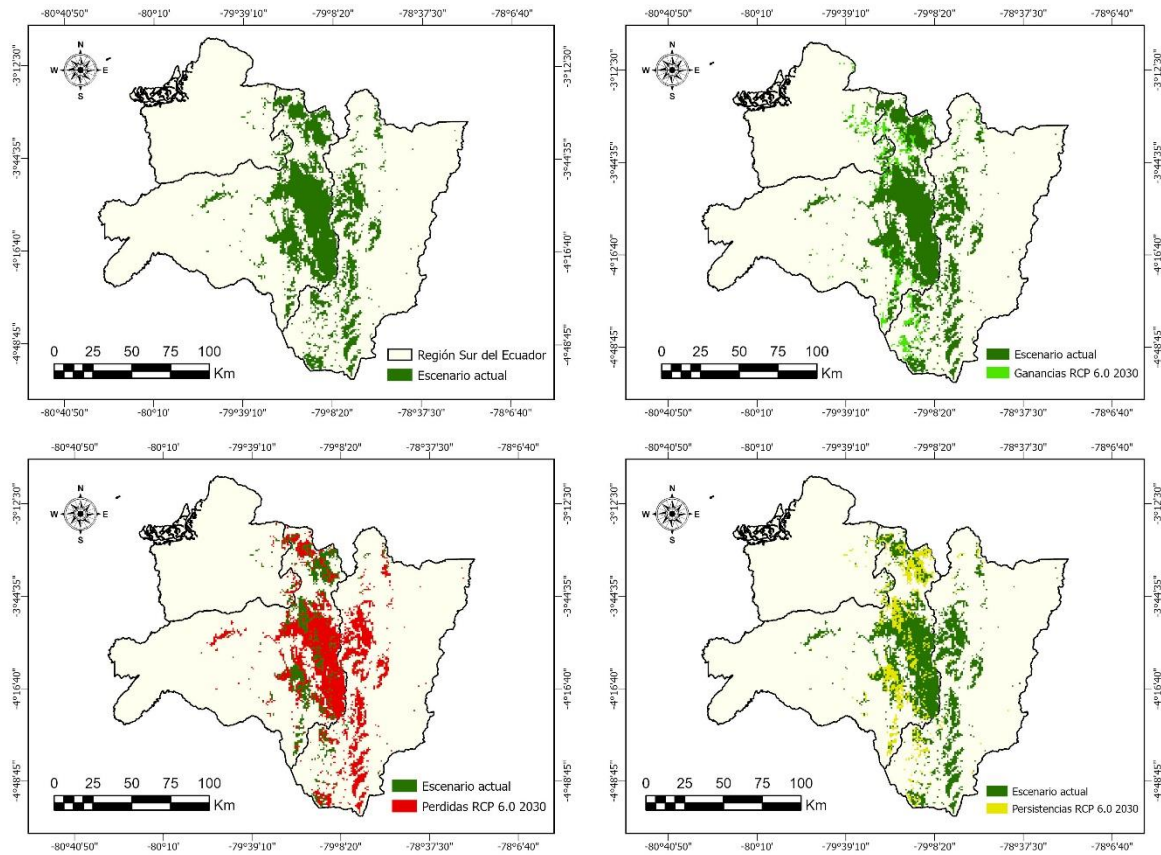


Figura 8. Modelación de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2030.

En la Figura 9 se muestra el modelo generado de la distribución potencial de la especie de *C. officinalis* L, para el año 2050 bajo el escenario climático RCP 6.0, donde la probabilidad de pérdidas es – 289.641,54 ha (- 10,58 %), con una probabilidad de aumento de presencia de *C. officinalis* L, de 60.831,61 ha (2,22 %) y con persistencias de 113.641,54 ha (4,15%) con a respecto a la distribución del escenario actual. Además, se evidencia que desde el año 2030 hasta el 2050 (Tabla 6) existe un aumento en cuanto a la probabilidad de presencia de la especie de *C. officinalis* L, de ~1000 ha.

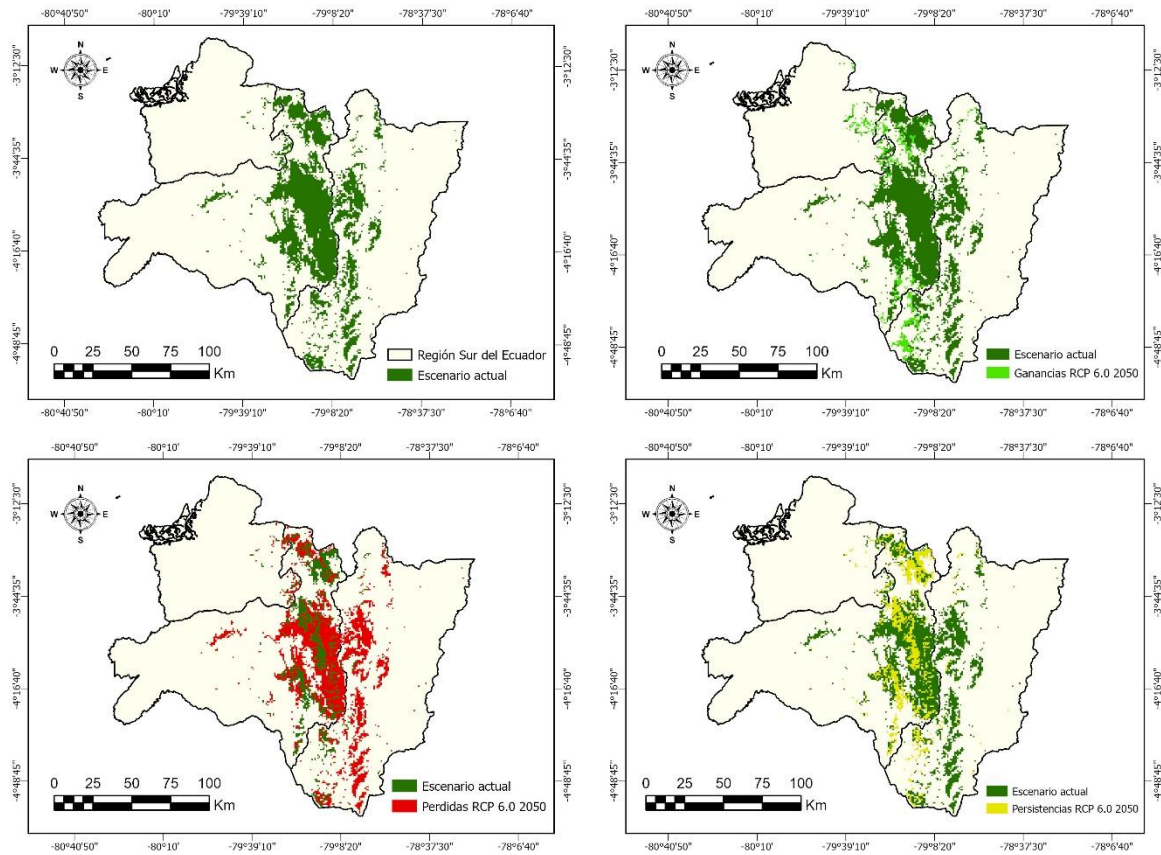


Figura 9. Modelación de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2050.

El modelo generado bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2080 (Figura 10 y Tabla 6), determino *C. officinalis* L, en la RSE tiene una probabilidad de aumento de presencia de 65.883,55 ha (2,41 %), aproximadamente de 6 000 y 5 000 hectáreas más de acuerdo a la probabilidad de presencia para los años 2030 y 2050 respectivamente. Los valores de la probabilidad de pérdida de presencia de *C. officinalis* L, con respecto a la distribución del escenario actual es de - 260.727,31 ha (-9,52 %), con una probabilidad de permanencia de 142.560,86 ha (5,21 %), valor que indica que la probabilidad de permanencia que podría tener la especie de *C. officinalis* L, es mayor conforme a las distintas dinámicas temporales y espaciales.

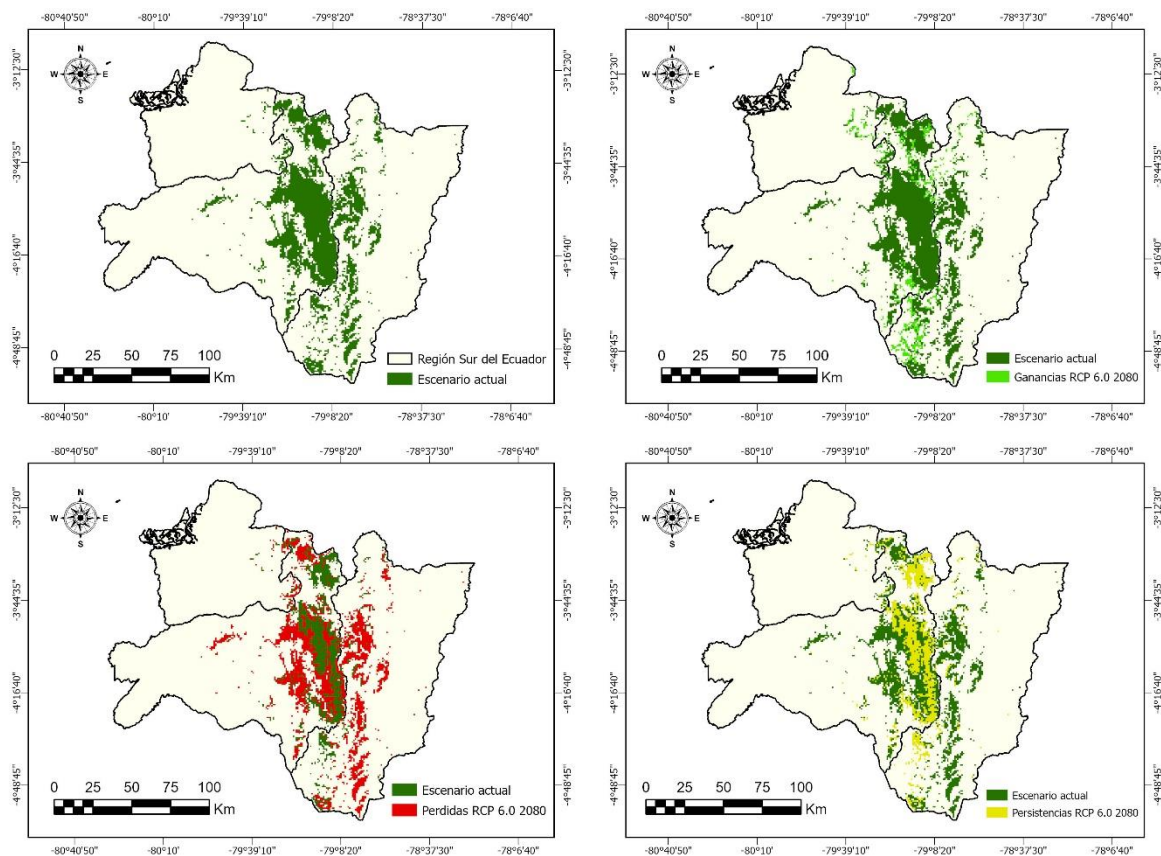


Figura 10. Modelación de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, bajo el escenario climático RCP 6.0 para el año 2080.

Tabla 6. Probabilidad de área potencial de pérdida, ganancia y persistencia para los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 6.0.

Descripción	Escenario	Año 2030		Año 2050		Año 2080	
		ha	%	ha	%	ha	%
Ganancia	RCP 4.5	62.773,50	15,57	60.122,90	14,91	53.199,24	13,19
Perdida	RCP 4.5	-282400,07	70,03	-301.004,78	74,64	-287.809,78	71,37
Persistencia	RCP 4.5	120.887,30	29,98	102.282,59	25,36	115.477,62	28,64
Ganancia	RCP 6.0	597.137,83	14,81	60.813,61	15,08	65.883,55	16,34
Perdida	RCP 6.0	-302.340,34	74,87	-289.641,54	71,82	-260.727,31	64,65
Persistencia	RCP 6.0	100.947,05	25,03	113.645,86	28,18	142.560,10	35,35

A nivel de provincia, en la Tabla 7, se presenta la probabilidad de pérdida, persistencia y ganancia de área de distribución potencial de la especie de *Cinchona Officinalis* L, siendo la provincia de Loja en donde se pierde aproximadamente – 500.000,00 ha, tanto bajo el escenario climático RCP 4.5, como para el escenario climático RCP 6.0, seguido de la provincia de Zamora Chinchipe con – 350.000,00 ha y la provincia de El Oro con – 15.862,19 ha para el escenario climático RCP 4.5 y – 18.539,72 ha para el escenario RCP 6.0.

Tabla 7. Área potencial de ganancia, pérdida y persistencia de la especie de *Cinchona officinalis* L, a nivel de provincia de la Región Sur del Ecuador.

Provincia	Escenario	Área (Ha)		
		Ganancias	Perdidas	Persistencias
Loja	RCP 4.5 2030	30.889,22	-160.811,04	98.428,70
	RCP 4.5 2050	26.238,14	-176.426,42	82.813,30
	RCP 4.5 2080	21.458,42	-162.092,60	97.147,13
	RCP 6.0 2030	31.672,70	-176.246,32	82.993,40
	RCP 6.0 2050	28.178,40	-165.107,02	94.132,71
	RCP 6.0 2080	26.345,10	-143.107,32	116.132,41
El Oro	RCP 4.5 2030	13.463,85	-4 200,32	5 689,94
	RCP 4.5 2050	17.345,37	-4 551,18	5 339,08
	RCP 4.5 2080	6 550,76	-7 110,70	2 779,60
	RCP 6.0 2030	10.654,45	-5 810,70	4 079,60
	RCP 6.0 2050	10.823,14	-5 961,55	3 928,72
	RCP 6.0 2080	8 551,23	-6 767,50	3 122,81
Zamora Chinchipe	RCP 4.5 2030	18.394,50	-117.375,91	16.757,90
	RCP 4.5 2050	16.515,99	-120.014,80	14.118,98
	RCP 4.5 2080	25.166,47	-118.594,84	15.538,95
	RCP 6.0 2030	17.374,38	-120.270,50	13.863,30
	RCP 6.0 2050	21.801,87	-118.561,55	15.572,25
	RCP 6.0 2080	30.961,50	-110.841,42	23.292,40

En la Tabla 8, se muestran los intervalos de temperatura media anual, precipitación anual y rango de altitud en la que probablemente se encuentre en un futuro la especie de *Cinchona officinalis* L. Dentro de estos resultados cabe destacar que el rango de temperatura

no presenta cambios mayormente significativos, a excepción del escenario climático RCP 6.0 2080, en el cual el rango de temperatura aumenta aproximadamente 3 °C, mientras que la probabilidad de presencia de la especie de *C. officinalis* L, en los dos escenarios climáticos para todas las dinámicas espaciales se mantiene por arriba de los 1 000 m.s.n.m.

Tabla 8. Intervalos de temperatura anual, precipitación anual y altitud, de la especie de *Cinchona officinalis* L, para los años 2030, 2050 y 2080, bajos los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 6.0.

Escenario	Descripción		
	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)
RCP 4.5 2030	8.9 - 23.5	609 - 3085	1274 - 3685
RCP 4.5 2050	9.3 - 23.5	649 - 3116	1232 - 3685
RCP 4.5 2080	9.2 - 23.8	735 - 2322	1274 - 3732
RCP 6.0 2030	8.2 - 23.0	600 - 2252	1274 - 3773
RCP 6.0 2050	8.5 - 23.3	684 - 2319	1274 - 3773
RCP 6.0 2080	9.2 - 27.8	767 - 2061	1274 - 3773

6.2. Comparar los modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de *Cinchona officinalis* L, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080

El área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos el cambio de uso del suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual es de 259.208,60 ha, 35,72 % menos que el área del modelo de distribución potencial. Siendo la provincia de Loja la que se mantiene con mayor área de distribución potencial con 146.618,67 ha, seguido por la provincia de Zamora Chinchipe con 106.434,33 ha y la provincia de El Oro con un total de 6 131,99 ha (Figura 11).

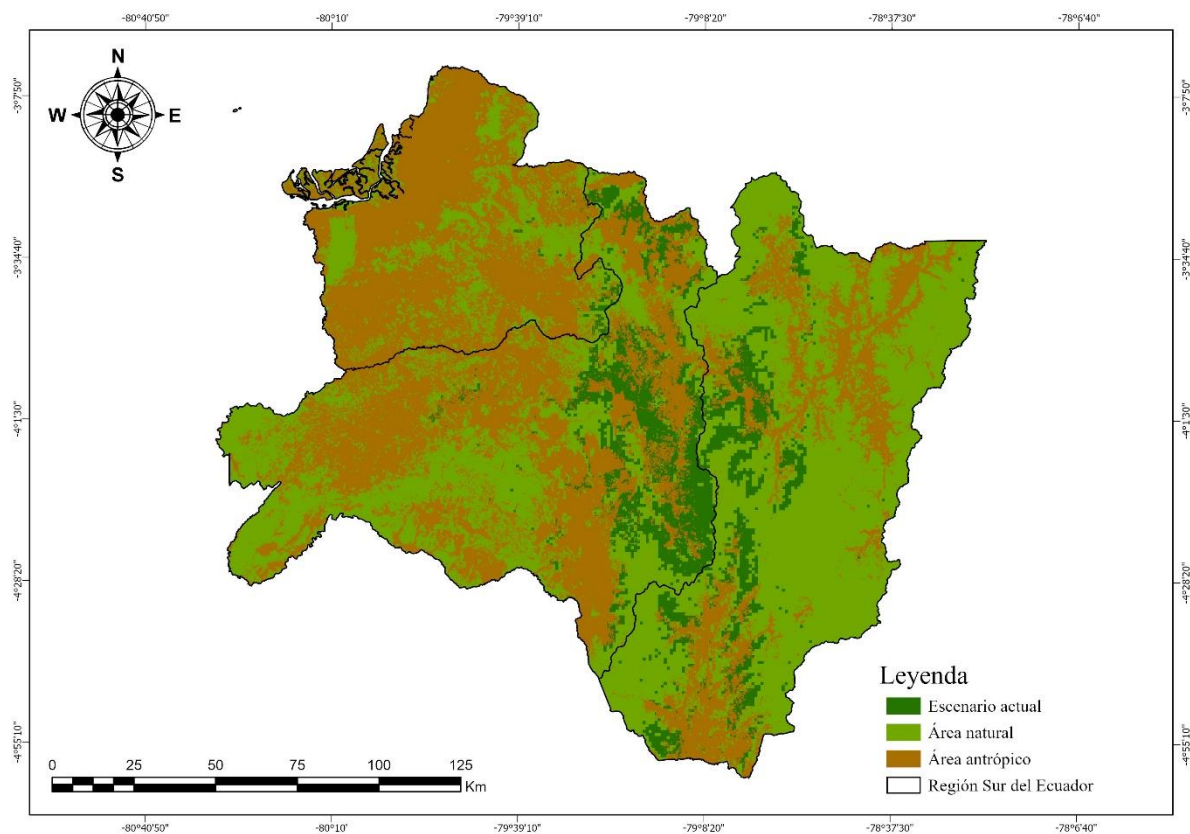


Figura 11. Área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos usos de suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual.

En la Figura 11 (Anexo 8, 9, 10, 11, 12 y 13), se presenta y se detalla la comparación del área de pérdidas, persistencias y ganancias de los modelos de distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, y la distribución potencial menos los usos de suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 6.0.

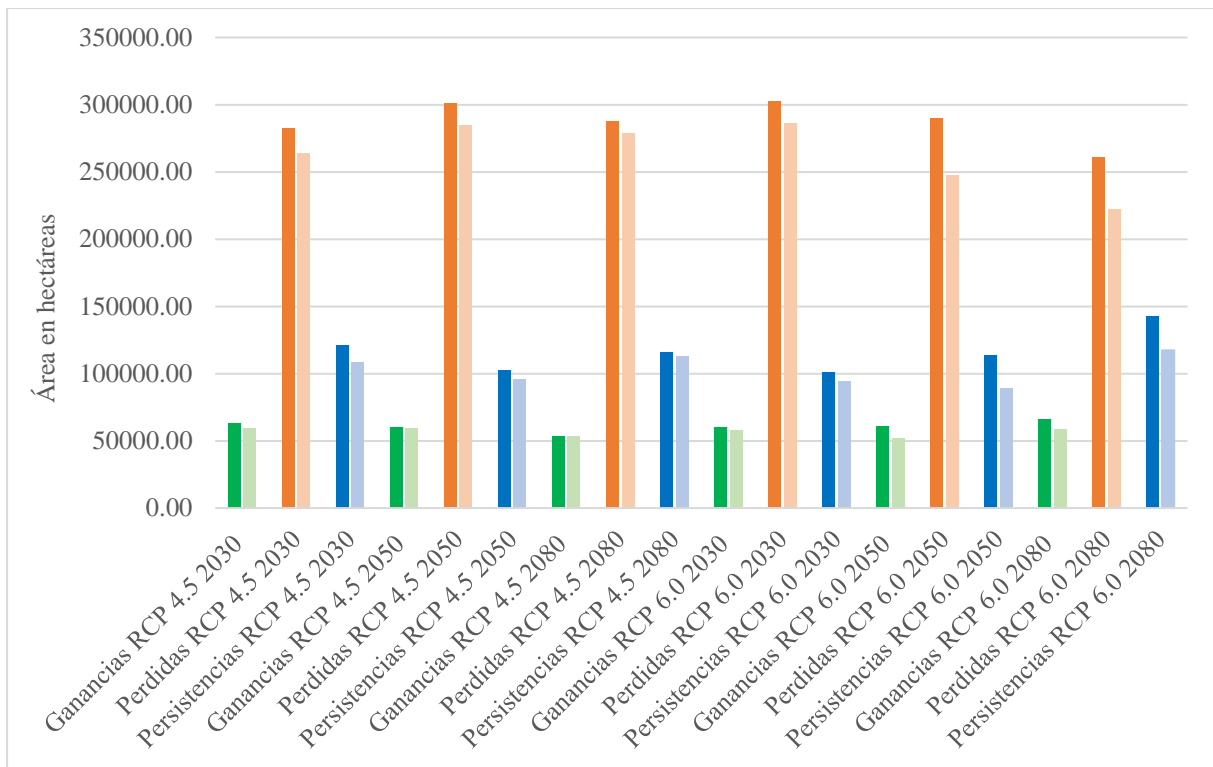


Figura 12. Área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos los usos de suelo antrópico en la Región Sur del Ecuador por años y para los dos escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 (Distribución potencial: Ganancias ● , Perdidas ● , Persistencias ● ; Distribución potencial menos cambio de uso de suelo: Ganancias ● , Perdidas ● , Persistencias ●).

7. Discusión

A partir de los hallazgos encontrados en la presente investigación muestran que bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 podría tener efectos en la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, tanto en el escenario actual como para los escenarios futuros (2030, 2050 y 2080). El comportamiento de *C. officinalis* L, en los dos escenarios de cambio climático muestran que las proyecciones tienen un planteamiento desigual entre escenarios RCP, debido probablemente a la variabilidad de los factores que influye en *C. officinalis* L, como tener una distribución limitada y estas generalmente distribuida en zonas altas, lo que es ratificado por el estudio realizado por Eras et al., (2019), donde afirma que la distribución de *C. officinalis* L, comprende generalmente la Región Sur del Ecuador y otras provincias de la Región Costa y Sierra. Según Veintimilla Ramos, (2013) en los modelos proyectados a futuro, las especies que se encuentran en montañas altas, el rango inferior de

distribución tiende a reducirse; forma contraria aquellas especies de partes bajas o medias, donde tienen la posibilidad de colonizar en el rango superior de la distribución altitudinal.

Desde el punto de vista de la conservación las predicciones son muy desfavorables para la especie de *C. officinalis* L, en las proyecciones bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 6.0 con disminuciones que llegan a valores de entre el 65 y 75% en pérdida de área para todas las dinámicas temporales (2030, 2050 y 2080) con respecto a la distribución potencial del escenario actual, siendo la zona más afectada la provincia de Loja seguido de las provincias de Zamora Chinchipe y El Oro. Para esta investigación las predicciones modeladas para *C. officinalis* L, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, muestran que la probabilidad de ganancia en área es baja con valores que van desde 1,90 a 2,45 %, debido presumiblemente a que las condiciones ambientales donde se desarrolla actualmente *C. officinalis* L, muy probablemente sean muy pocas zonas en el futuro las que posean los requerimientos ambientales adecuados para el desarrollo de *C. officinalis* L.

Existe evidencia de que los cambios actuales ya afecta la distribución de las especies tanto de flora como de fauna (Thuiller et al., 2011). Teniendo que enfrentar diversas presiones del ambiente tales como, variaciones en los cambios de temperatura y humedad que generalmente delimitan la distribución de las especies (Thuiller, 2007). Donde la capacidad de adaptabilidad de las especies frente al cambio climático, dependerá de su capacidad de tolerancia (Thuiller, 2007). Dicha capacidad de respuesta de cada especie se vería afectada por el estado de conservación de la vegetación y por factores como la deforestación y cambio climático (Villers-Ruiz & Trejo-Vázquez, 2000).

Los rasgos que hacen que una especie sea particularmente vulnerable a las perturbaciones del cambio climático incluyen un rango geográfico estrecho, limitada capacidad de dispersión y un alto grado de especialización del hábitat (Isaac, 2009), es decir, especies que presentan una distribución restringida (Thuiller et al., 2005), como lo es la especie de *Cinchona officinalis* L, por lo que su sensibilidad al cambio climático se ve reflejado en los modelos de distribución potencial, bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080.

Además, se espera que especies con distribución restringida de como resultado distribuciones altamente fragmentadas y asiladas, susceptible a pérdidas, reduciendo así su capacidad para adaptarse a los efectos climáticos (Williams et al., 2008). Condiciones que podrían explicar la pérdida de superficie de la distribución potencial de la especie de *Cinchona officinalis* L, hacia el futuro bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 6.0.

La especie de *Cinchona officinalis* L, tiene una distribución potencial actual en la Región Sur del Ecuador de 403.263,83 hectáreas. Cueva-Agila et al., (2019), en su investigación validan dichos resultados debido a que estudian la caracterización genética de las poblaciones fragmentadas, encontrando individuos de cascarilla en los bordes de los pastizales de El Madrigal, Vilcabamba, Yangana y Gonzanamá, y poblaciones mayormente conservadas en las reservas privadas de Angashcola y El cristal. Otro estudio que ratifica los resultados obtenidos es el de Padilla Rosales, (2017), quien en su investigación estudia cuatro relictos boscosos de cascarilla en la provincia de Loja: El Naque, Zamora Huayco, Uritusinga y Saraguro, encontrado varios individuos de *Cinchona officinalis* L. Sin embargo el área de distribución potencial actual difieren de los resultados obtenidos por Jiménez Jiménez, (2021), quien en su estudio de identificación de áreas naturales conservadas para esta especie, obtuvo un área de distribución potencial de 1'276.772,21 hectáreas. Estas variaciones pueden estar sujetas a la metodología y variables ambientales empleadas para la elaboración de los modelos de distribución.

Las variables ambientales empleadas en los modelos de la distribución de la especie de *Cinchona officinalis* L, fueron variables climáticas y topográficas. Siendo los predictores más utilizados en SDM, ya que describen tolerancias fisiológicas a gran escala y representan tanto gradientes directos (temperatura) como de recursos (humedad) como variables de resumen (precipitación anual) o variables más complejas y presumiblemente más relevantes desde el punto de vista ecológico (Miller, 2010). Esto es ratificado por Huamán et al., (2019), quienes en su investigación emplearon diez variables climáticas y una topográfica, las mismas que han permitido modelar el área donde se desarrolla adecuadamente la especie de *C. officinalis* L.

El área de distribución potencial actual de la especie comprende entre las altitudes de 1 053 – 3680 m.s.n.m, similar a lo expuesto por Jeréz Bastidas, (2017) y Cueva-Agila et al., (2019), quienes manifiestan que la especie de *Cinchona officinalis* L, se desarrolla en

altitudes de 640 – 3 200 y 2 600 – 2 900 m.s.n.m respectivamente. Sin embargo, las proyecciones hacia el futuro bajo los dos escenarios climáticos indican que la cascarilla se encontrara desarrollándose en altitudes mayores en las diferentes dinámicas temporales. Esto es ratificado por Hughes, (2000), que manifiesta que se espera que las especies se desplacen hacia zonas de mayor elevación o hacia los polos en respuesta a los cambios ambientales provocados por los efectos del cambio climático.

La especie de *Cinchona officinalis* L, se desarrolla generalmente en las estribaciones occidentales y orientales de las dos cordilleras de los Andes (Acosta-Solis, 1989). En este sentido las variables ambientales que más influyeron en los modelos de la distribución potencial de la cascarilla son la elevación (DEM), precipitación del trimestre más cálido (BIO18), precipitación del trimestre más frío (BIO19), estacionalidad de la precipitación (BIO15), isothermalidad (BIO2/BIO8*100) y pendiente, en donde el área de distribución potencial actual presenta una temperatura de 7,45 °C hasta los 21,95 °C, resultado semejante a lo descrito por Jiménez Jiménez, (2021), quien obtuvo un rango de temperatura de 6,81 – 15,94 °C, siendo confirmado por Tapia Alvarado, (2013) al afirmar que la especie de *Cinchona officinalis* L, soporta temperaturas de 6,5 °C hasta los 25 °C.

El área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, en función de los tipos de suelo PFT (Plant Functional Type) bajo escenarios Shared Socio – Economic Pathways (SSP): SSP2– RCP 4.5 y SSP4 – RCP 6.0, para las diferentes dinámicas temporales (2030, 2050 y 2080), las proyecciones muestran que existe la probabilidad de pérdida de área con valores de hasta un 5 % para los años 2030, 2050 y 2080, debido a que todos los escenarios SSP presentan cambios en el uso de suelo como respuesta a la demanda agrícola e industrial que se prevé en el futuro (Riahi et al., 2017).

Según Popp et al., (2017), las proyecciones bajo el escenario SSP2, el cambio de uso de suelo está regulado de manera incompleta, donde, la deforestación continua, aunque disminuye paulatinamente con el tiempo, es decir, que bajo estas proyecciones la deforestación aumentaría, influyendo en el área de distribución de *Cinchona officinalis* L. Según Tapia-Armijos et al., (2015), el porcentaje de deforestación en el periodo 1989-2008 fue de 2.86%, mayor a los años anteriores habiéndose transformado el 46% de la cobertura vegetal, a causa de la deforestación y la fragmentación, lo cual influye directamente sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad. Lo que es ratificado

por Riahi et al., (2017), quien menciona que el patrón de uso de suelo resultante de las proyecciones SSP2 y SSP4, es la pérdida a gran escala de bosques y áreas naturales, debido a la expansión de cultivos y pastizales.

Finalmente, la combinación de escenarios SSP – RCP es posible, lo que es ratificado por el IPCC, (2020), donde menciona que las trayectorias SSP pueden combinarse con RCP, que implican diferentes niveles de mitigación, con consecuencias para la adaptación; pudiendo los SSP ser compatibles con distintos niveles de aumento de la temperatura media global. Sin embargo, tal como menciona el IPCC, (2020), algunas combinaciones de SSP y RCP no son posibles; por ejemplo, la RCP 2,6 y niveles más bajos de aumento de la temperatura media global en superficie en el futuro (1,5 °C) no son posibles en la SSP3 en las trayectorias modelizadas. Por tanto, la combinación de SSP – RCP en la presente investigación es consistente debido a que únicamente se trabajó con la combinación de SSP2 – RCP 4.5, donde la temperatura media global de RCP 4.5 se encuentra de 1,1 °C a 2,6 °C y la combinación de SSP4 – RCP 6.0, encontrándose este último en un rango de temperatura media global es de 1,4 °C a 3,1 °C, haciendo posible la combinación de estos dos escenarios climáticos. Además, los RCP ayudan a representar la incertidumbre sobre los efectos climáticos que habrá en un futuro con respecto al incremento de temperatura, precipitación, por tanto, los RCP constituye una interfaz importante entre los motores de emisiones y los motores de cambio climático (Escoto Castillo et al., 2017; O’Neill, 2016).

8. Conclusiones

- Los modelos de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080 existe la probabilidad de pérdida de área de entre el 65 y 75% de área con respecto a la distribución del escenario actual, y al considerar los modelos de cambio de uso de suelo, existe la probabilidad de un aumento de pérdida de hasta un 5% para los dos escenarios climáticos y para todos los años 2030, 2050 y 2080.
- El área de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, para el escenario actual en la Región Sur del Ecuador es de 403.263,83 hectáreas y el área de distribución potencial menos el cambio de uso de suelo antrópico es de 259.208,60 hectáreas, caracterizada por ser discontinua y fragmentada.

- La probabilidad de ocurrencia de *Cinchona officinalis* L., está restringida a un área proporcionalmente baja con respecto al total de territorio de la Región Sur del Ecuador, siendo la provincia de Loja la que posee mayor probabilidad de que *C. officinalis* L, se distribuya potencialmente.
- El área de distribución potencial bajo los escenarios climático RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, con respecto a la distribución actual mostro que la probabilidad de perdidas es del 65 al 70 %, con ganancias de 13 a 16 % y persistencias de entre el 25 a 35 %.
- Los modelos de distribución potencial bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, existe la probabilidad que la especie de *Cinchona officinalis* L, se encuentre en elevaciones que van desde los 1 000 a 3 800 m.s.n.m, con temperaturas de entre los 8.2 a 23.8 °C, siendo en el año 2080 bajo el escenario RCP 6.0 donde la temperatura máxima alcanza los 27.8 °C.

9. Recomendaciones

- Los modelos de distribución (SDM) de especies son una herramienta muy útil en varios aspectos, como proyectar bajo escenarios de cambio climático hacia y así encontrar nuevas zonas o áreas que posean similares condiciones climáticas que las actuales, con la finalidad de mejorar un plan de reforestación o conservación de nuevas áreas para el desarrollo de la especie de *Cinchona officinalis* L.
- Los modelos de distribución de especies tienen el potencial de jugar un rol crítico como soporte espacial en la toma de decisiones en el ámbito de la conservación, por ende, los mapas de distribución de especies son necesarios para evaluar las amenazas a las que están sometidas las áreas de interés conservacionista de la especie de *Cinchona officinalis* L, como para diseñar reservas, incluso incorporando en este último caso, escenarios futuros de cambio climático y cambios de uso de suelo.

10. Referencias

- Acosta-Solis, M. (1989). La Cinchona o quina planta nacional del Ecuador. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, 17(65), 306–311. https://www.acefyn.com/revista/Volumen_17/65/305-311.pdf
- Aguilar, S. A. V., Ceferino, C. C. M., & Copo, H. F. B. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72–76. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/388>
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda-Luna, T., & Aguirre-Mendoza, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la región sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. *Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de Los Estados Unidos. Loja, Ecuador*. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Maita/publication/298753988_Vulnerabilidad_al_cambio_climatico_en_la_Region_Sur_del_Ecuador_Potenciales_impactos_en_los_ecosistemas_produccion_de_biomasa_y_produccion_hidrica/links/56f5e70508ae7c1fda2eec85/Vulnera
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Armijos González, R. (2016). *Conservación de plantas regeneradas in vitro y análisis de la variación somaclonal de Cinchona officinalis, Linneo* [Agronomos]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39541>
- Barredo, J. M. M. (2016). *Distribución Actual y Potencial de Especies Leñosas Alimenticias en África Para la Formulación de Estrategias de Conservación* [Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/40046/1/TFM.pdf>
- Benavidez-Silva, C., Jensen, M., & Pliscoff, P. (2021). Future Scenarios for Land Use in Chile: Identifying Drivers of Change and Impacts over Protected Area System. *Land*, 10(4), 408. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Benito, B., & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la

- conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 7, 100–119.
- Brun, P., Thuiller, W., Chauvier, Y., Pellissier, L., Wüest, R. O., Wang, Z., & Zimmermann, N. E. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, 47(1), 130–142. <https://doi.org/10.1111/jbi.13734>
- Busby, J. R. (1991). BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Prot Q*, 6, 8–9.
- Carmona Balanta, S., & García Polanco, J. M. (2019). *Determinación de la distribución espacial de la especie arbórea Astronium graveolens jacq. y su importancia de conservación ambiental en Antioquia*. http://repositorio.udea.edu.co/bitstream/10495/13705/1/GarciaJessica_2019_DistribucionEspacialArborea.pdf
- Chen, G., Li, X., & Liu, X. (2022). Global land projection based on plant functional types with a 1-km resolution under socio-climatic scenarios. *Scientific Data*, 9(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01208-6>
- Cueva-Agila, A., Vélez-Mora, D., Arias, D., Curto, M., Meimberg, H., & Brinegar, C. (2019). Genetic characterization of fragmented populations of *Cinchona officinalis* L.(Rubiaceae), a threatened tree of the northern Andean cloud forests. *Tree Genetics & Genomes*, 15(6), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1393-y>
- Delgado, T., & Suárez-Duque, D. (2009). Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria reserva ecológica El Ángel-Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 8(1–2), 27–36. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162009000100004&lng=es&tlng=en.
- Despland, E., & Houle, G. (1997). Climate influences on growth and reproduction of *Pinus banksiana* (Pinaceae) at the limit of the species distribution in eastern North America. *American Journal of Botany*, 84(7), 928–937. <https://doi.org/10.2307/2446283>
- Elith*, J., H. Graham*, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R.,

- Huettmann, F., R. Leathwick, J., & Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J., & Franklin, J. (2013). *Species Distribution Modeling* (S. A. B. T.-E. of B. (Second E. Levin (ed.); pp. 692–705). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00318-X>
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330–342. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x>
- Eras, V., Minchala, J., Moreno, J., Arévalo, M., Sinche, M., & Valarezo, C. (2019). *Estructura, Composición Florística y Fisiología Reproductiva de Cinchona officinalis L., en la Provincia de Loja*. [https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ESTRUCTURA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y FISIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE Cinchona officinalis.pdf](https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ESTRUCTURA_COMPOSICIÓN_FLORÍSTICA_Y_FISIOLOGÍA_REPRODUCTIVA_DE_Cinchona_officinalis.pdf)
- Escoto Castillo, A., Sánchez Peña, L., & Gachuz Delgado, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(3), 669–693. <https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>
- Espinosa, R. (1997). *Estudios botánicos en el sur del Ecuador. v. 1: Loja-Catamayo-Malacatos-Vilcabamba. v. 2: Herbarium Universitatis Loxensis (primer inventario)* (Issue 580.9866 E77 1997). Universidad Nacional de Loja, Loja (Ecuador). Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Feng, X., Park, D. S., Liang, Y., Pandey, R., & Papeş, M. (2019). Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. *Ecology and Evolution*, 9(18), 10365–10376. <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- García-Quintas, A., & Ávila, D. D. (2012). Un ejemplo teórico de modelación del hábitat y la distribución potencial por análisis factorial del nicho ecológico. *Mesoamericana*, 16(3), 12–21. <https://revistasvip.up.ac.pa/index.php/mesoamericana/article/view/207>

- Garmendia, A. (2005). El árbol de la quina (*Cinchona* spp.), distribución, caracterización de su hábitat y arquitectura. *Loja, Ecuador: Editorial Universidad Técnica Particular de Loja*.
- Gil, G. E. (2017). *Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de El Oro*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001_PDY_OT-PROVINCIA EL ORO-14-08-2015_14-08-2015_18-31-46.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de El Oro*. https://drive.google.com/file/d/1sK9_OQShr4ywa-bVuWDZU7xpWs17VrU2/view
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe*. <http://zamora-chinchipe.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/PDOT-2019-2023-ZAMORA-CHINCHIPE.pdf>
- González Elizondo, M., Jurado Ybarra, E., González Elizondo, S., Aguirre Calderón, Ó. A., Jiménez Pérez, J., & Nívar Cháidez, J. de J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia Uanl*, 6(3). http://eprints.uanl.mx/1287/1/cambio_climatico.pdf
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 89–100. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(02)00204-1)
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(00)00354-9)
- Hernández, J. S. (2021). El legado de George Evelyn Hutchinson en la ecología y limnología moderna. *Boletín de La Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Biológica*, 115, 64–76. <https://doi.org/10.29077/bol.115.e06.sanchez>

- Huamán, L., Albán, J., & Chilquillo, E. (2019). Aspectos taxonómicos y avances en el conocimiento del estado actual del árbol de la Quina (*Cinchona officinalis* L.) en el Norte de Perú. *Ecología Aplicada*, 18(2), 145–153. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1333>
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15(2), 56–61. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(99\)01764-4](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(99)01764-4)
- Illoldi Ranguel, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3, 7–12. https://www.researchgate.net/profile/Escalante-Tania/publication/286336295_De_los_modelos_de_nicho_ecologico_a_las_areas_de_distribucion_geografica/links/568a9b4008aebccc4e1a0c38/De-los-modelos-de-nicho-ecologico-a-las-areas-de-distribucion-geografica.pdf
- INEC (Diego Orbe, & Maritza Cuichán). (2022). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). In *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín_técnico.pdf
- IPCC. (2007). *Cambio Climático 2007*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014 Informe de síntesis Resumen para responsables de políticas*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- IPCC. (2019). *Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del r*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10050
- IPCC. (2020). *El cambio climático y la tierra. Resumen para responsables de políticas*. www.ipcc.ch

- Isaac, J. L. (2009). Effects of climate change on life history: implications for extinction risk in mammals. *Endangered Species Research*, 7(2), 115–123. <https://doi.org/10.3354/esr00093>
- Isamit Faure, M. A. (2022). *Caracterización de incertidumbre asociada a proyecciones climáticas en los recursos hídricos de río Cachapoal Alto, Chile* [Repositorio Académico de la Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/185546>
- Jeréz Bastidas, E. A. (2017). *Propagación sexual y asexual de la cascarilla (Cinchona officinalis L.), con fines de potencial reproductivo en el vivero Catiglata del Consejo provincial de Tungurahua*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7663>
- Jiménez Jiménez, L. S. (2021). *Identificación de Áreas Naturales Conservadas de Cinchona officinalis L., en la Región Sur del Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24164/1/Lorena Sthefania Jiménez Jiménez.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24164/1/Lorena%20Sthefania%20Jiménez%20Jiménez.pdf)
- Kamyo, T., & Asanok, L. (2020). Modeling habitat suitability of Dipterocarpus alatus (Dipterocarpaceae) using maxent along the Chao Phraya river in central Thailand. *Forest Science and Technology*, 16(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/21580103.2019.1687108>
- Leach, K., Montgomery, W. I., & Reid, N. (2016). Modelling the influence of biotic factors on species distribution patterns. *Ecological Modelling*, 337, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.008>
- Loján, L. (1992). *El verdor de los Andes. Proyecto de desarrollo forestal participativo en los Andes*.
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O., & Martínez, M. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de Physalis. *Botanical Sciences*, 93(4), 755–764. <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- López García, M. A. (2007). Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental. *Centro de Investigación En Matemáticas, AC*.

https://207.249.123.232/jspui/bitstream/1008/87/2/TE_244.pdf

- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. *Bótanica Austroecuatoriana. Estudios Sobre Los Recursos Vegetales En Las Provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipec*. Abya-Yala, Quito, 29–49. https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Lozano-3/publication/233936622_Los_tipos_de_bosque_en_el_sur_del_Ecuador/links/09e4150d2590560376000000/Los-tipos-de-bosque-en-el-sur-del-Ecuador.pdf
- Manel, S., Williams, H. C., & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 921–931. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, 5(1). <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/881>
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490–509. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>
- Montaño, M. E. C., Serrano, J. A. M., Guamán, V. H. E., Patiño, J. M., Zaruma, D. G., Arévalo, M. Y., & Ortega, C. V. (2017). Multiplicación sexual y asexual de *Cinchona officinalis* L., con fines de conservación de la especie. *Tzhoeoen*, 9(1), 81–93. <https://doi.org/10.26495/rtzh179.121509>
- O’Neill, B. (2016). *The Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) and their extension and use in impact, adaptation and vulnerability studies*.
- O’Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., Van Ruijven, B. J., Van Vuuren, D. P., Birkmann, J., & Kok, K. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169–180.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

Odum, E. P. (1974). *Ecologia*. interamericana.

Ontaneda Andrade, D. F. (2020). *Efectos de la variabilidad climática sobre los caudales aportantes al embalse Salve Faccha perteneciente a la red de agua potable Papallacta* [Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7805/1/T3323-MCCNA-Ontaneda-Efectos.pdf>

Padilla Rosales, T. S. (2017). *Estudio Fenológico y Análisis de las Características del Suelo Donde se Desarrolla Cinchona officinalis L, en Cuatro Relictos Boscosos de la Provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19604/1/TRUMAN STALIN PADILLA ROSALES..pdf>

Pais Bosch, A. I., Tecco, P. A., Funes, G., & Cabido, M. R. (2012). *Efecto de la temperatura en la regeneración de especies leñosas del Chaco Serrano e implicancias en la distribución actual y potencial de bosques*. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/113624/CONICET_Digital_Nro.f87e70a1-57d0-48a5-b4ce-a3ea17d6a12b_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>

Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Doelmann, J. C., & Gusti, M. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>

- Prasad, A. M., Iverson, L. R., & Liaw, A. (2006). Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction. *Ecosystems*, 9(2), 181–199. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0054-1>
- Prefectura de Loja. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015 - 2025*. <https://prefectura Loja.gob.ec/transparencia/#519-533-pdot>
- Pucha-Cofrep, D. A., Feijoo, C. E., Arévalo, M. Y., & Guamán, V. H. E. (2020). Sensibilidad de *Cinchona officinalis* L. al estrés hídrico: cambios morfológicos y anatómicos de la madera. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), 27–43. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/860>
- Quiñonez, J. V., Segura, S. T., Echeverría, E. E., & Quiñonez, V. A. (2022). Breves reflexiones en enfoque sociológico sobre los cambios climáticos y el calentamiento global siglo XXI. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(2), 663–677. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i1.370>
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., & Fricko, O. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Ruete, A., & Leynaud, G. C. (2015). Goal-oriented evaluation of species distribution models’ accuracy and precision: True Skill Statistic profile and uncertainty maps. *PeerJ PrePrints*, 3, e1208v1. <https://peerj.com/preprints/1208.pdf>
- Samaniego-Rojas, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Cambio Climático y Biodiversidad: Estudio de Caso de Los Páramos Del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Universidad Nacional de Loja, Loja*, 78-9978-355-31–2, 43–63. https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Santin/publication/300102061_Diversidad_de_briofitos_de_los_Paramos_de_Cajanuma_del_Parque_Nacional_Podocarpus/links/5709390d08ae8883a1fa50dd/Diversidad-de-briofitos-de-los-Paramos-de-Cajanuma-del-Parque-Nacional

- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s—losing a hotspot of biodiversity. *PloS One*, *10*(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Tapia Alvarado, J. L. (2013). *Estudio de factibilidad para la producción orgánica y comercialización de Quina (Cinchona officinalis) en el Cantón Loja*. Quito, 2013. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2482>
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., De Siqueira, M. F., Grainger, A., & Hannah, L. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, *427*(6970), 145–148. <https://doi.org/10.1038/natural02121>
- Thuiller, W. (2007). Climate change and the ecologist. *Nature*, *448*(7153), 550–552. <https://doi.org/10.1038/448550a>
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M. D., & Thuiller, C. W. (2016). Package ‘biomod2.’ *Species Distrib. Model. within an Ensemble Forecast. Framew.* <https://cran.microsoft.com/snapshot/2016-05-25/web/packages/biomod2/biomod2.pdf>
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, *32*(3), 369–373. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x>
- Thuiller, W., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangéat, I., Lafourcade, B., & Araujo, M. (2011). Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, *470*(7335), 531–534. <https://doi.org/10.1038/nature09705>
- Thuiller, W., Lavorel, S., & Araújo, M. B. (2005). Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, *14*(4), 347–357. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2005.00162.x>
- Thuiller W, Georges D, Gueguen M, Engler R, Breiner F, & Lafourcade B. (2022). *Authors and Cbiomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version 4.0.itation • biomod2*. <https://biomodhub.github.io/biomod2/>

- Townsend Peterson, A., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30(4), 550–560. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.05102.x>
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., & Lamarque, J.-F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Veintimilla Ramos, D. A. (2013). *Identificación y caracterización de tipos de bosque tropical sobre un gradiente altitudinal en Costa Rica: el caso " Caribe-Villa Mills" [CATIE, Turrialba (Costa Rica)]*. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9020/Identificacion_y_caracterizacion_de_tipos_de_bosque_tropical.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Villers-Ruiz, L., & Trejo-Vázquez, I. (2000). El cambio climático y la vegetación en México. *México: Una Visión Hacia El Siglo XXI. El Cambio Climático En México. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program*, 57–66. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Villers-y-Trejo.pdf>
- Warhurst, D. C., Craig, J. C., Adagu, I. S., Meyer, D. J., & Lee, S. Y. (2003). The relationship of physico-chemical properties and structure to the differential antiplasmodial activity of the cinchona alkaloids. *Malaria Journal*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-2-26>
- Whittaker, R. H., Levin, S. A., & Root, R. B. (1973). Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist*, 107(955), 321–338. <https://doi.org/10.1086/282837>
- Williams, S. E., Shoo, L. P., Isaac, J. L., Hoffmann, A. A., & Langham, G. (2008). Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biology*, 6(12), e325. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060325>
- Yáñez-Cajo, D. J., Vaca, M. E., & Lobo, D. (2015). Aplicación del modelamiento de distribución de *Bradypus variegatus*, para la conservación del nicho ecológico. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 12(10–11). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista->

Zwiener, V. P., Padial, A. A., Marques, M. C. M., Faleiro, F. V, Loyola, R., & Peterson, A. T. (2017). Planning for conservation and restoration under climate and land use change in the Brazilian Atlantic Forest. *Diversity and Distributions*, 23(8), 955–966. <https://doi.org/10.1111/ddi.12588>

11. Anexos

Anexo 1. Registro de información de presencias de la especie de *Cinchona officinalis* L.

Fuente Bibliográfica	Sitio	Ubicación Geográfica		Nombre Colector / Autor
		Longitud (X)	Latitud (Y)	
GBIF		713171	9507893	FR Fosberg & M. Giler
GBIF		697508	9558982	FR Fosberg & M. Giler
Tesis	PNP	703521	9548430	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	San Pedro	703482	9531841	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis		687124	9697751	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Zamora Huaicu	702678	9553777	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Zamora Huaicu	702578	9553869	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Carretera vieja Loja–Toma	689659	9557829	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Hcda. Cartagena	699831	9552124	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Vilcabamba	701654	9528865	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez
Tesis	Vilcabamba	701621	9528862	Lorena Sthefania Jiménez Jiménez

Tesis	Vilcabamba	703356	9530029	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		693454	9556285	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		703486	9531841	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		696892	9548229	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		700502	9548836	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		677588	9535584	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		784005	9603963	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		784932	9604053	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		693454	9556285	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		761631	9531315	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		756285	9528412	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		659795	9539653	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		813053	9838120	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis		713198	9788031	Lorena Jiménez	Sthefania Jiménez	Jiménez
Tesis	El Naque	720027	9535364	María Quinteros	Fernanda Quinteros	Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535364	María Quinteros	Fernanda Quinteros	Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535373	María Quinteros	Fernanda Quinteros	Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535376	María Quinteros	Fernanda Quinteros	Yucta Quinteros

				Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535364	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535361	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535364	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535364	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535373	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720052	9571217	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720022	9558314	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535302	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535287	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535287	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535287	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535355	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	720027	9535367	María Fernanda Yucta Quinteros

Tesis	El Naque	720027	9535367	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	720027	9535376	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699652	9535412	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699653	9535434	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699663	9535441	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699666	9535440	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699665	9535440	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699660	9535438	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699661	9535436	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699664	9535430	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699664	9535427	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699672	9535421	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699674	9535419	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699644	9535408	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699642	9535406	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699637	9535412	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699643	9535416	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	El Naque	699883	9537066	María	Fernanda	Yucta

				Quinteros
Tesis	El Naque	699677	9535427	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	El Naque	699683	9534413	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681551	9607781	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681551	9607767	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681543	9607756	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681539	9607763	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681539	9607745	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681544	9607737	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681535	9607739	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681535	9607739	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681528	9607745	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681528	9607747	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681525	9607747	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681535	9607767	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681539	9607775	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681540	9607775	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Santa Lucia	681541	9607779	María Fernanda Yucta Quinteros

Tesis	Santa Lucia	681535	9607779	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681541	9607790	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681545	9607807	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681596	9607816	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681596	9607815	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681584	9607811	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681592	9607823	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681595	9607823	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681595	9607825	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Santa Lucia	681595	9607826	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681598	9607828	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681536	9667695	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681534	9607701	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681530	9607704	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681535	9607717	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Selva Alegre	681544	9607721	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702462	9553316	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702397	9553316	María	Fernanda	Yucta

				Quinteros
Tesis	San Simón	702397	9553316	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702462	9553359	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702462	9553356	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702480	9553362	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702474	9553359	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702542	9553405	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702518	9553393	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702493	9553362	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702471	9553347	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702471	9553378	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702477	9553411	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702471	9553424	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702471	9553424	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702468	9553427	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702157	9553428	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702462	9553424	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	San Simón	702462	9553421	María Fernanda Yucta Quinteros

Tesis	San Simón	702462	9553418	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702468	9553415	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702471	9553418	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702468	9553421	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702423	9534989	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702463	9553421	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702321	9553567	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702321	9553558	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702327	9553551	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702330	9553549	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702330	9553551	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702339	9553552	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702345	9553544	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702333	9553552	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702341	9553567	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702340	9553570	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	San Simón	702336	9553561	María Quinteros	Fernanda	Yucta
Tesis	Uritusinga	692423	9547308	María	Fernanda	Yucta

				Quinteros
Tesis	Uritusinga	692429	9547305	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692429	9547305	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692426	9547302	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692429	9547293	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692426	9547293	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692389	9547348	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692389	9547348	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692393	9547341	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692294	9547340	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692402	9547330	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692408	9547327	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692386	9547345	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692392	9547324	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692352	9547373	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692352	9547373	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692355	9547376	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692359	9547376	María Fernanda Yucta Quinteros

Tesis	Uritusinga	692359	9547376	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692359	9547370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692359	9547370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	692368	9547370	María Fernanda Yucta Quinteros
Tesis	Uritusinga	681551	9607781	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681551	9607767	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681543	9607756	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681539	9607763	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681539	9607745	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681544	9607737	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681535	9607739	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681535	9607739	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681528	9607745	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681528	9607747	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681525	9607747	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681535	9607767	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681539	9607775	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681540	9607775	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681541	9607779	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681535	9607779	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681541	9607790	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681545	9607807	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681596	9607816	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681596	9607815	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681584	9607811	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681592	9607823	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681595	9607823	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681595	9607825	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681595	9607826	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	681598	9607828	Truman Stalin Padilla Rosales

Tesis	Chorrera del Naque	699673	9535436	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699674	9535434	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699670	9535428	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699671	9535427	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699667	9535422	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699664	9535416	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699666	9535415	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699655	9535423	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699662	9535424	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699667	9535426	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699668	9535426	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699663	9535435	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699664	9535432	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699658	9535433	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699648	9535417	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699650	9535413	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699638	9535415	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699639	9535413	Truman Stalin Padilla Rosales

	Naque			
Tesis	Chorrera del Naque	699648	9535410	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699651	9535403	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699650	9535420	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699651	9535420	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699652	9535433	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Chorrera del Naque	699652	9535412	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702477	9553411	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702471	9553424	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702471	9553424	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702468	9553427	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702157	9553428	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553421	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553418	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702468	9553415	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702471	9553418	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702468	9553421	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702423	9534989	Truman Stalin Padilla Rosales

Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553316	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702397	9553316	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702397	9553316	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553359	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553356	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702480	9553362	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702474	9553359	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702542	9553405	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702518	9553393	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702493	9553362	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702471	9553347	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702471	9553378	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	700246	9553421	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Quebrada de San Simón	702462	9553424	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692423	9547308	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692429	9547305	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692429	9547305	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692426	9547302	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692429	9547293	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692426	9547293	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692389	9547348	Truman Stalin Padilla Rosales

Tesis	Uritusinga	692389	9547348	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692393	9547341	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692294	9547340	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692402	9547330	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692408	9547327	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692386	9547345	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692392	9547324	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692352	9547373	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692352	9547373	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692355	9547376	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692359	9547376	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692359	9547376	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692359	9547370	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692359	9547370	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis	Uritusinga	692368	9547370	Truman Stalin Padilla Rosales
Tesis posgrado	PNP	699622	9547630	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	701811	9545212	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703178	9544739	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703171	9544728	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703163	9544716	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	731651	9544715	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703159	9544715	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703152	9544720	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703143	9544710	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703140	9544704	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703141	9544704	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	PNP	703137	9544702	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701584	9537674	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701580	9537669	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701594	9537674	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701593	9537673	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701593	9537673	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701605	9537672	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701598	9537671	Yajaira Gabriel Arévalo Capa

Tesis posgrado	Granadillos	701598	9537671	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701599	9537676	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Granadillos	701599	9537676	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701450	9528471	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701458	9528453	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701458	9528453	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701467	9528457	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701461	9528458	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701467	9528459	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701467	9528459	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701457	9528446	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701455	9528444	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Yamburara	701449	9528435	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Congoya	699357	9534476	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Congoya	699786	9534609	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Congoya	699766	9534620	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694711	9539995	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694688	9540002	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694694	9540001	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694688	9539996	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694685	9539989	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694685	9539984	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694689	9539972	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694694	9539988	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694694	9539990	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694697	9539995	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694702	9539987	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694703	9539974	Yajaira Gabriel Arévalo Capa
Tesis posgrado	Uritusinga	694708	9539968	Yajaira Gabriel Arévalo Capa

Anexo 2. Algoritmo aplicado en R para transformar los puntos de ausencia en potenciales pseudoausencias.

```
# Format Data with true absences
```

```
myBiomodData <- BIOMOD_FormatingData(resp.var = myResp,  
                                     expl.var = myExpl_ecosistema.ejemplo,
```

```

resp.xy = myRespXY,
resp.name = myRespName)
pdf("output/Plots/Ausencias/myBiomodData.pdf")
plot(myBiomodData)
dev.off()

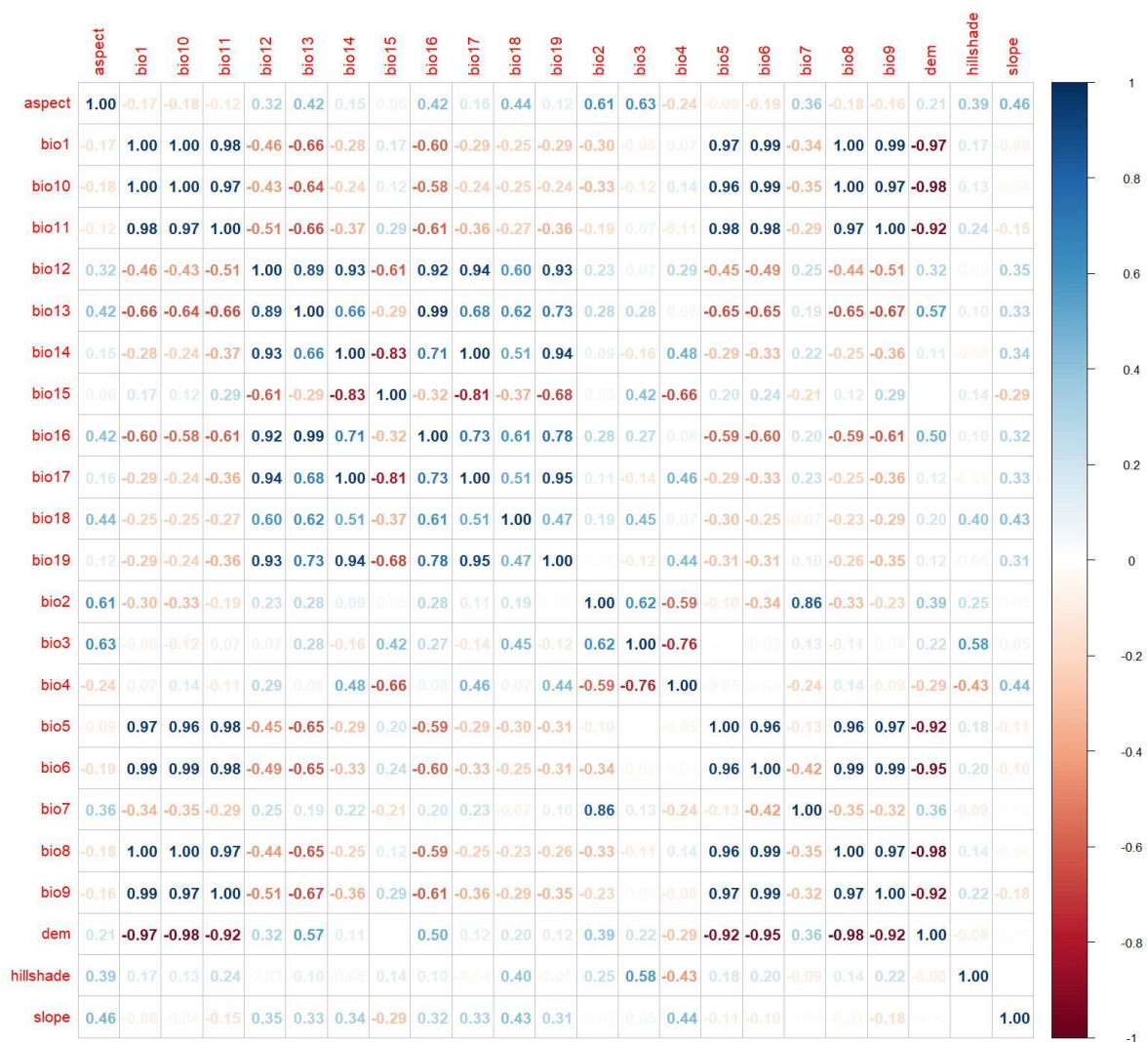
```

```

# Transform true absences into potential pseudo-absences
myResp.PA <- ifelse(myResp == 1, 1, NA)

```

Anexo 3. Correlación de Pearson de las 23 variables biofísicas.



Anexo 4. Algoritmo aplicado en R para la validación de datos.

Several validation strategies can be combined

```
DataSplitTable.b <- BIOMOD_CrossValidation(bm.format = myBiomodData,  
                                         k = 1,  
                                         nb.rep = 1,  
                                         do.full.models = TRUE)
```

```
DataSplitTable.y <- BIOMOD_CrossValidation(bm.format = myBiomodData,  
                                         k = 1,  
                                         do.stratification = TRUE,  
                                         method = "y")
```

```
colnames(DataSplitTable.y)[1:2] <- c("RUN11", "RUN12")
```

```
myBiomodCV <- cbind(DataSplitTable.b, DataSplitTable.y)
```

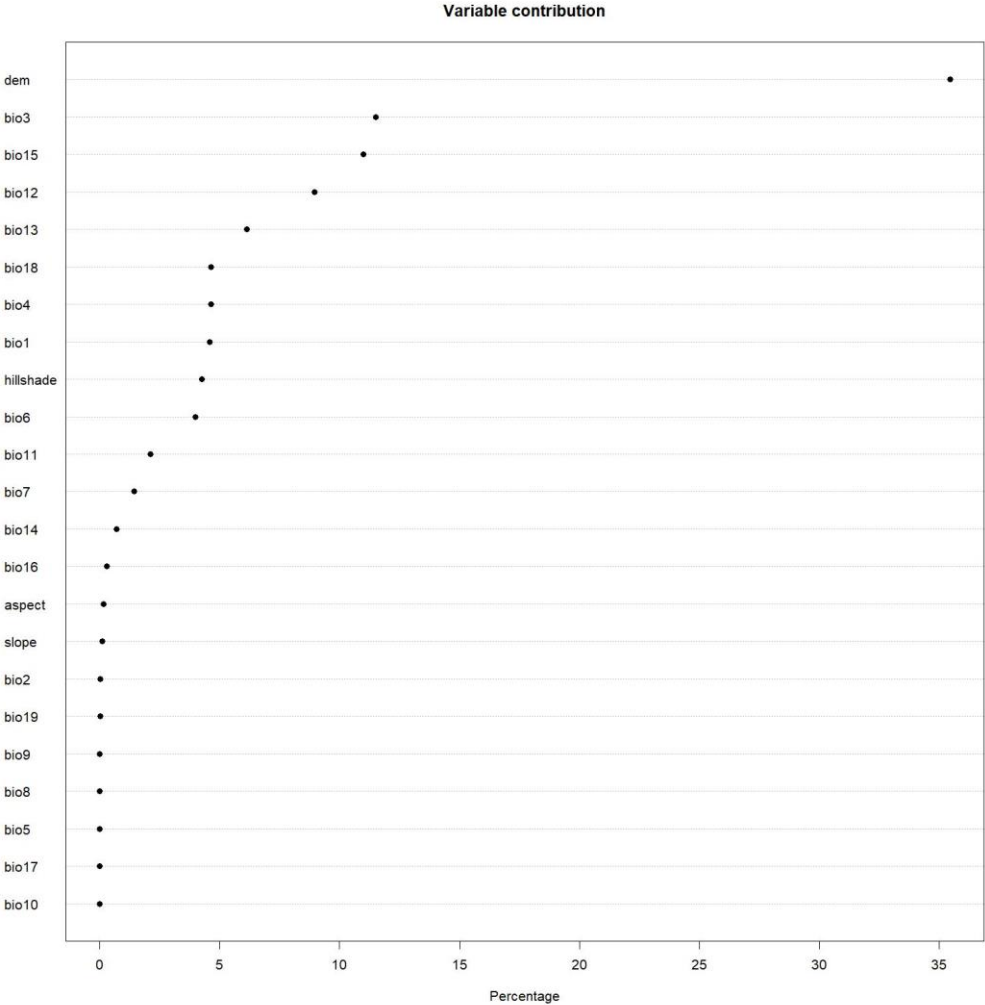
```
head(myBiomodCV)
```

Anexo 5. Algoritmo aplicado en R para calibrar el modelo.

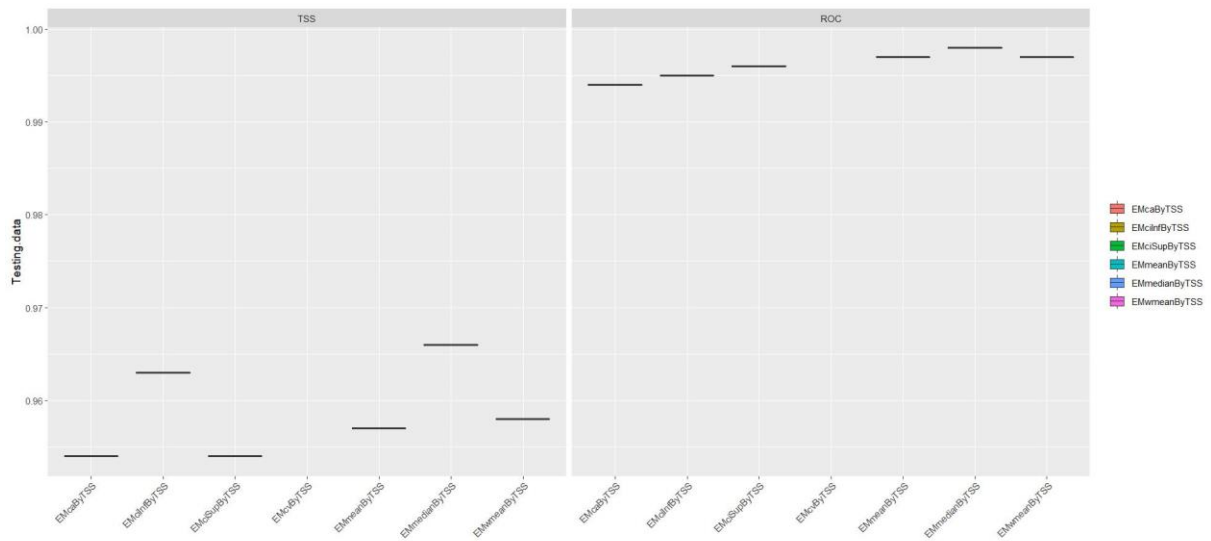
```
myBiomodModelOut <- BIOMOD_Modeling(bm.format = myBiomodData,  
                                   bm.options = myBiomodOptions,  
                                   modeling.id = 'AllModels',  
                                   models = c("GLM", "GBM", "GAM", "CTA", "ANN", "SRE", "FDA",  
                                   "MARS", "RF",  
                                   "MAXENT.Phillips"),  
                                   nb.rep = 1,  
                                   data.split.perc = 80,  
                                   # data.split.table = myBiomodCV,  
                                   var.import = 3,  
                                   metric.eval = c("TSS", "ROC"),  
                                   do.full.models = FALSE)
```

```
myBiomodModelOut
```

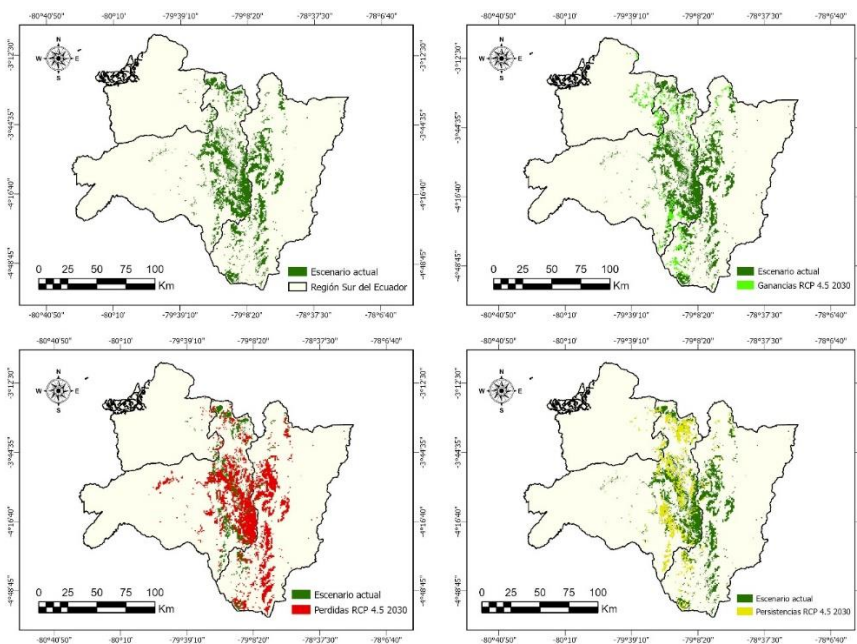
Anexo 6. Resultados de la prueba de Jackknife para variables de importancia.



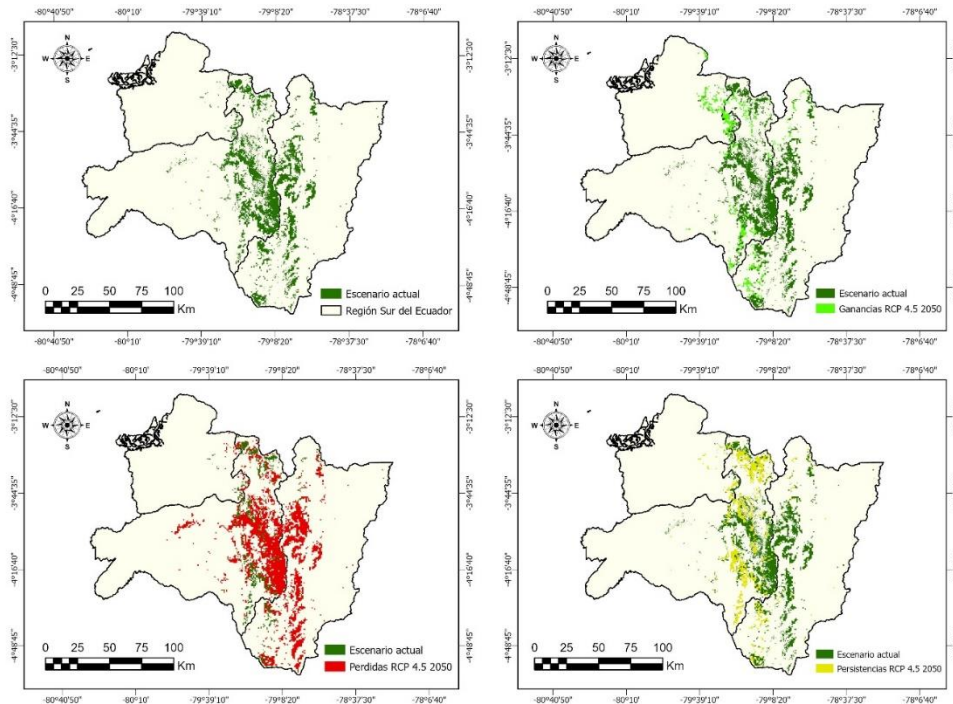
Anexo 7. Evaluaciones de los ensambles de los modelos mediante los Test ROC y TSS.



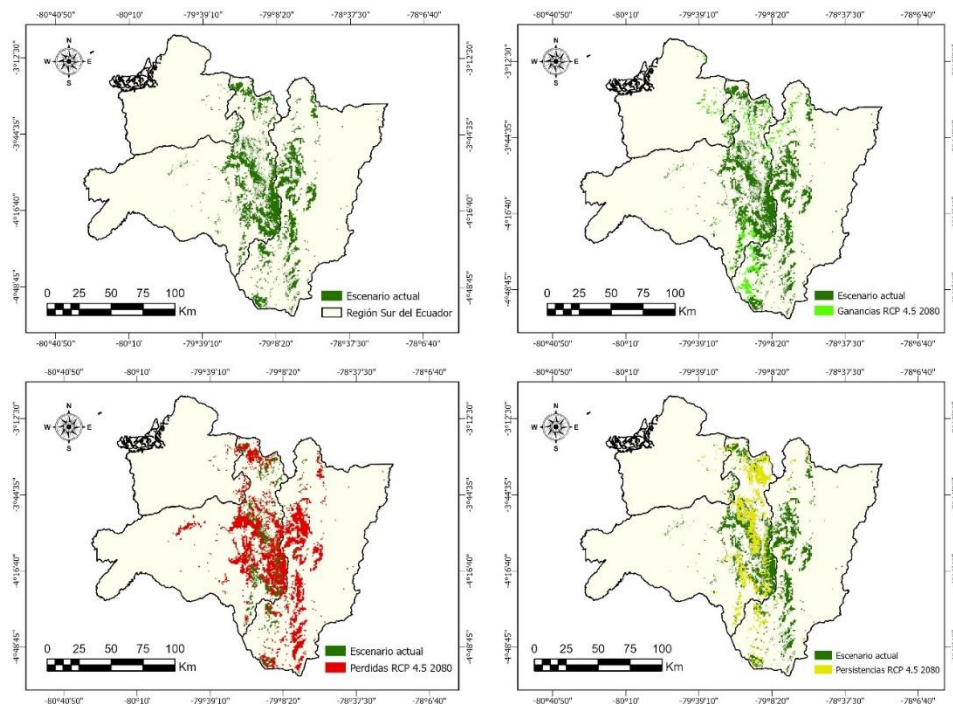
Anexo 8. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2030.



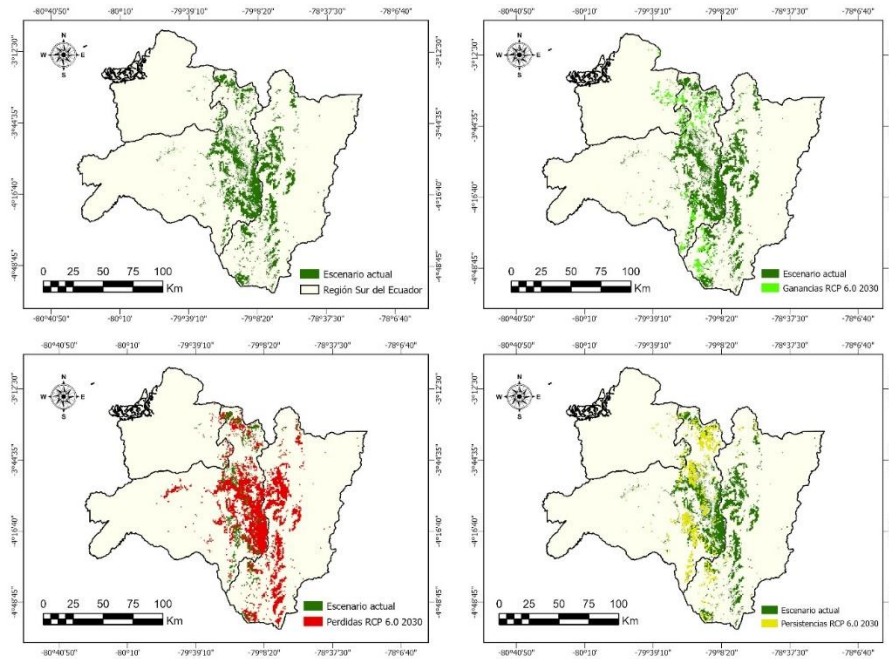
Anexo 9. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2050.



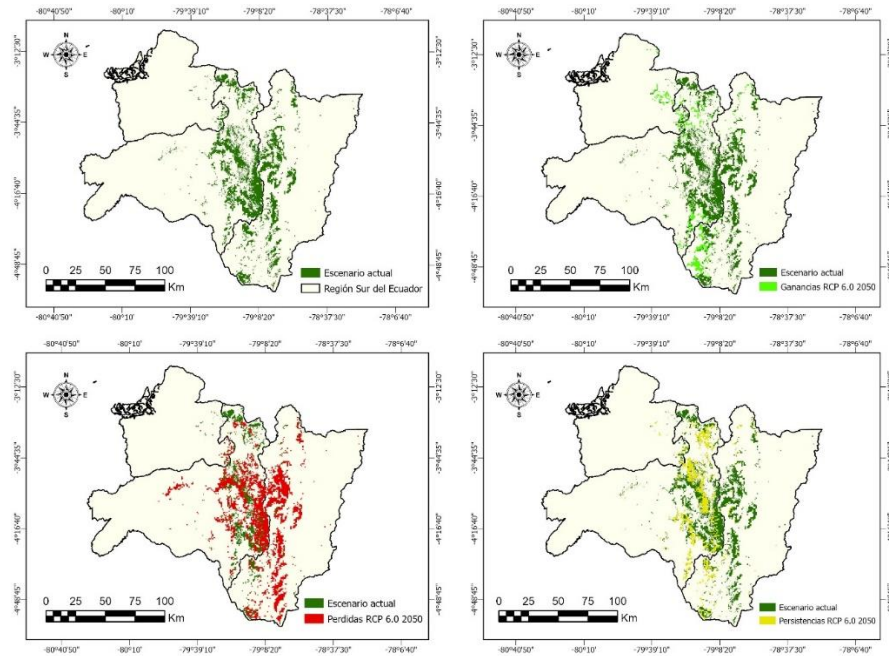
Anexo 10. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 4.5 2080.



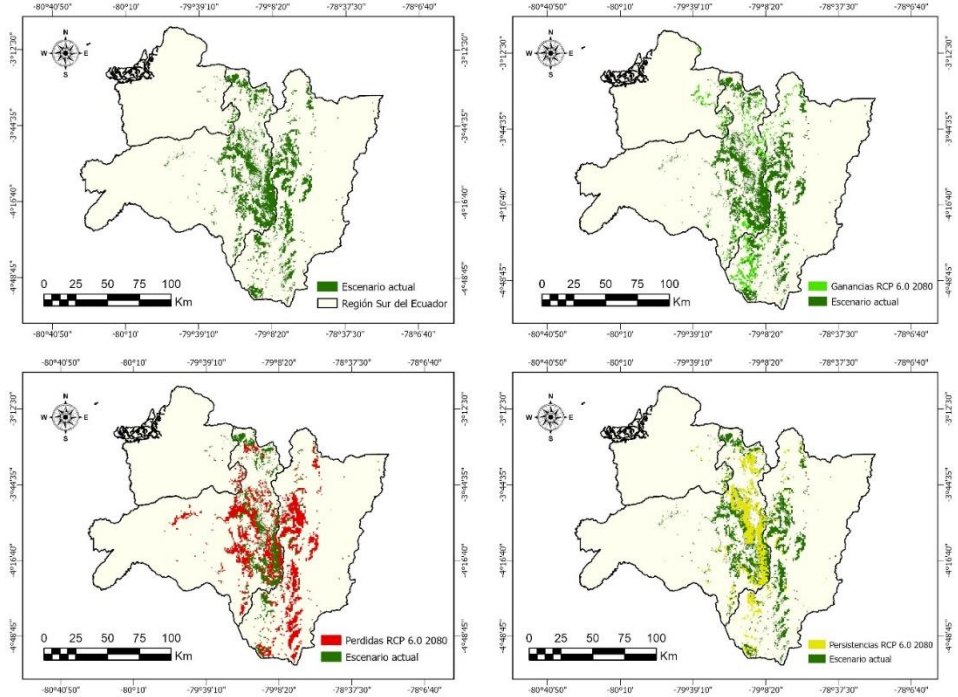
Anexo 11. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2030.



Anexo 12. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2050.



Anexo 13. Modelo de distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, menos cambios de uso de suelo bajo el escenario climático RCP 6.0 2080.



Anexo 14. Certificación de la traducción del Resumen (Abstract).



Lic. Wilber Cevallos Castillo
Licenciado en Ciencias de la Educación,
mención idioma inglés

0967587814
wilber.cevalloscastillo@gmail.com
Loja, Ecuador

Loja, 14 de julio del 2023

Yo, Cevallos Castillo Wilber, con número de cédula 1105241846 y con título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Idioma Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-2021-2267744.

CERTIFICO:

Que tengo conocimiento y dominio de los idiomas Español e Inglés y, que, la traducción del resumen del trabajo de titulación **Modelación de la Distribución potencial de *Cinchona officinalis* L, bajo escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo en la Región Sur del Ecuador**, de autoría del estudiante Méndez Cevallos Alexis Geovanny, con cédula 1105331910, estudiante de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Renovables, carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente; es verdadero y correcto ante los parámetros que mi experticia me permite constatar y dar fe.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, dando al interesado la facultad de hacer uso del presente documento en lo que considere conveniente.

Lic. Cevallos Castillo Wilber
C.I. 1105241846
Rec. 1008-2021-2267744